LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

HUBBLE

El cosmos se hace mayor



NATIONAL GEOGRAPHIC

EDWIN HUBBLE se licenció en leyes, pero su pasión por la cosmología fue tal que acabó convirtiéndose en uno de los grandes astrónomos del siglo XX. Sus trabajos ampliaron nuestra visión del cosmos más allá de la Vía Láctea: registró y clasificó las galaxias distantes, y en 1929 demostró que el universo se encuentra en expansión. El telescopio espacial Hubble, bautizado así en su honor, continúa cartografiando el universo, tal como lo hiciera el astrónomo estadounidense durante más de treinta años.

LA EXPANSIÓN DEL UNIVERSO

HUBBLE

El cosmos se hace mayor

NATIONAL GEOGRAPHIC

EDUARDO BATTANER LÓPEZ es catedrático de Astronomía y Astrofísica de la Universidad de Granada. Como investigador, su especialidad es el magnetismo cósmico en los medios interestelar e intergaláctico y en el Fondo Cósmico de Microondas. En el campo de la divulgación es autor de varios libros.

© 2013, Eduardo Battaner López por el texto
© 2013, RBA Contenidos Editoriales y Audiovisuales, S.A.U.
© 2013, RBA Coleccionables, S.A.

Realización: EDITEC

Diseño cubierta: Llorenç Martí

Diseño interior: Luz de la Mora

Infografías: Joan Pejoan

Fotografías: Age Fotostock: 41, 45b, 67, 83a, 102; Archivo RBA: 22, 62, 63, 68, 79, 83bi; Biblioteca del Congreso de Estados Unidos: 45ad, 142; M. Blanton/Digital Sky Survey: 117; Corbis: 126; Andrew Dunn: 83bd; ESA/LFI & HFI: 115a; European Southern Observatory: 95a; Getty Images: 127b, 149ai; Ville Koistinen: 89b; Misión espacial WMAP/NASA: 115b; NASA: 65, 73, 89c, 91b; NASA and The Hubble Heritage Team (STScl/AURA): 89ai, 89ad, 91a, 95ci, 95cd, 95b; Observatorio Yerkes/Universidad de Chicago: 127ai; Mike Peel: 51; Prof saxx: 156; Smithsonian Institution: 144; Space Telescope Science Institute: 149b; Swedish Morphological Society: 149ad; Universidad Católica de Lovaina: 127; Universidad de Groningen: 76; Wheaton High School: 45ai.

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida por ningún medio sin permiso del editor.

ISBN: 978-84-473-7669-8
Depósito legal: B-12130-2016

Impreso y encuadernado en Rodesa, Villatuerta (Navarra)

Impreso en España - *Printed in Spain*

Sumario

INTRODUCCIÓN 7

CAPÍTULO 1 Hubble, el hombre 15

CAPÍTULO 2 La clasificación galáctica y los universos islas 59

CAPÍTULO 3 La ley de Hubble 99

CAPÍTULO 4 La homogeneidad del universo 119

ANEXO 159

LECTURAS RECOMENDADAS 163

ÍNDICE 165

Introducción

¿Qué significa el nombre de Edwin Powell Hubble en el desarrollo de la ciencia y, en particular, de la astronomía? Dejemos que sea él mismo quien nos lo diga. En su libro *The Realm of the Nebulae* (1936) él nos lo resumió, explicándonos cuáles fueron sus cuatro grandes aportaciones a la astronomía:

— La clasificación galáctica.

— La demostración de que existían los llamados «universos islas», o bien, galaxias muy distantes de nuestra propia Vía Láctea (aunque Hubble nunca empleó la palabra «galaxia»), aumentando extraordinariamente nuestra percepción de las verdaderas dimensiones del universo.

— La llamada «ley de Hubble». Las galaxias se alejan más deprisa cuanto más lejos están.

— La homogeneidad del universo.

En esta biografía nos interesa la familia, el carácter, la educación, el aspecto físico, la anglofilia, el militarismo, los amores, los compañeros, las amistades, etc., con una intención de retratar los aspectos humanos de Hubble. Y también habrá lugar, por su-

puesto, para el desarrollo histórico de sus aportaciones básicas a la astronomía y su interrelación con los científicos de su tiempo.

La clasificación de las galaxias de Hubble tiene la ventaja de ser sencilla aun cuando las galaxias presentan una gran disparidad de formas. Prácticamente, consiste en una sucesión ordenada de elípticas, lenticulares y espirales. La clasificación fue acertada, puesto que se sigue utilizando, a pesar de que está basada solamente en el aspecto, en unas longitudes de onda muy particulares: las correspondientes a la parte visible del espectro, y a pesar de no haber tenido nada en cuenta la componente principal de una galaxia: la materia oscura. No puede decirse que la clasificación galáctica sea obra exclusivamente suya y, por otra parte, aun siendo útil, no tiene el gran mérito de sus otras aportaciones.

La demostración de que existen «universos islas», es decir, otras galaxias o, como él decía, «*nébulas* extragalácticas», es decisiva, pues nos permite captar las dimensiones colosales del universo. El universo de Kepler era el sistema solar y el de Herschel era nuestra galaxia. El universo de Hubble tenía unas dimensiones tales que nuestra galaxia no era más que un puntito entre miles de millones de otras galaxias.

La investigación más conocida de Hubble es indudablemente la ley que hoy lleva su nombre. Esta ley no solo dice que el universo está en expansión, sino que precisa más, estableciendo que «la velocidad de alejamiento de una galaxia es proporcional a su distancia». En esta frase hay tres palabras clave: galaxia, velocidad y distancia. Para apreciar el mérito de Hubble al enunciar su famosa ley, hemos de tener en cuenta que, cuando comenzó su investigación, ni se sabía bien qué era una galaxia, ni cómo medir sus distancias, y solo se habían medido sus velocidades para una pequeña muestra de galaxias espirales.

Cuando se rememora la vida de muchos de los grandes científicos de la Antigüedad, se aprecia que su biografía está repleta de episodios dramáticos y extravagantes peripecias. Además, la filosofía y la teología se ven alteradas por sus descubrimientos, lo que impregna su vida y contribuye a su dramatismo. Pero Hubble es ya un científico de nuestro tiempo. Su vida es la de una persona del siglo XX, con hábitos bastante normales, algo trastornada por la viru-

lencia de dos guerras mundiales y por su fama y su prestigio social. Hubble es ya un profesional de la investigación de nuestros días.

Es cierto que sus descubrimientos perturbaron la filosofía y la comprensión del universo, pero esta perturbación no solía corresponder a la de su propio rostro. Hubble apenas participó, expresamente, en la controversia que él mismo desató: el *big bang*. Esta polémica saltó por encima de la frontera de la astronomía, afectando incluso a la filosofía y a la teología, pero él no quiso franquear estas fronteras.

Además, como científico actual, su labor está muy entrelazada y enmarañada con la de otros eminentes científicos de su tiempo y también con la de otros menos conocidos. Se basa en resultados ligeramente anteriores de sus colegas contemporáneos, provoca nuevas observaciones y nuevas teorías llevadas a cabo por ellos, y se aprecian codazos sobre la primacía de algunos trabajos, tal como ocurre hoy en día. La labor de Hubble descuella por encima de otros resultados de su tiempo, sí, pero no está aislada, es la obra de muchos.

De especial importancia es la interrelación entre teoría y observación. Puede decirse que los teóricos, en el caso que nos ocupa, iban algo por delante, debido a que Einstein había aportado recientemente la herramienta mental para pensar sobre el universo: la relatividad general. Entre varios científicos —no demasiados— escribieron una de las páginas más admirables de la historia de la humanidad. Hubble, cuya labor se circunscribió en lo fundamental a la observación, conoció personalmente a la mayoría de ellos y, aunque sus conversaciones fueron breves, resultaron determinantes. Como ocurre en la actualidad, el constante examen de lo que otros hacen lleva a una interconexión tan estrecha que luego es difícil reconocer el mérito de cada uno, a pesar de tener constancia escrita en revistas especializadas, con fechas muy precisas.

Era una época en la que la teoría se fraguaba mayormente en Europa y la observación y la experimentación sobre todo en Norteamérica. El Atlántico vio cómo grandes científicos de ambas inclinaciones lo surcaban con frecuencia. Esos viajes duraban unos once días, eran en barco, no en avión, pero casi todos presentían que la información de las revistas no bastaba. Había que verse, era

necesario hablar y oír. Escribir y leer no era suficiente. Se estaba escribiendo una página trascendental de la astronomía, y de toda la humanidad, pero antes de llevarla al papel se presentía y se rumoreaba. Cuando estos físicos se veían, un par de garabatos en la pizarra bastaban para entenderse.

¿Era el universo estático como quería Einstein en su primer trabajo cosmológico? ¿Era estacionario pero no estático, como quería el astrofísico británico Fred Hoyle? ¿Había habido un *big bang* seguido de una expansión, como querían Alexander Friedman y Georges Lemaître? Esta expansión ¿se iría acelerando, como quería De Sitter? ¿Era el universo finito en el espacio? ¿Cuál era la curvatura del espacio-tiempo? ¿Era el universo homogéneo? La respuesta la tenía el gran telescopio de Mount Wilson pilotado por Hubble. Es notorio que hoy haya respuestas para preguntas tan amplias y que se codean tan estrechamente con la filosofía. Y es igualmente notorio que estas respuestas han resultado, en cierto modo, inesperadas. ¿Qué filósofo espectador de la controversia cosmológica del siglo XX hubiera anticipado que había habido un *big bang*, un tiempo cero, una creación, como se atrevió a decir Friedman, un átomo primitivo, como se atrevió a decir Lemaître?

Quizá el mejor ejemplo de la crucial relación entre teoría y observación fue la entrevista de dos científicos de peculiaridades completamente opuestas: Einstein y Hubble. Enseguida, Einstein se dio cuenta de que las medidas de Hubble demostraban que su modelo de universo estaba equivocado, que el universo «de verdad» correspondía a un modelo que él había tirado a la papelera por parecerle inverosímil. ¿Cómo podía haber imaginado alguien que el universo estaba en expansión, como se deducía de sus primeras ecuaciones? ¿Cómo podía imaginarse eso antes de que Vesto Slipher y Hubble lo demostraran a pie de telescopio?

Desde el punto de vista puramente personal, la imagen de Hubble tiene trigo y paja. Siendo natural de Missouri, hablaba, vestía y accionaba como un lord inglés de Oxford. Gustaba que le llamaran «mayor Hubble» en lugar de «doctor Hubble» por su extremada vocación militar en contraste con su dedicación a la ciencia. Era presumido, altanero y distante. No solo era alto, sino además altivo. Tuvo frecuentes y fuertes altercados con sus compañeros

de trabajo y solo se entendía con Milton L. Humason, su ayudante en Mount Wilson, que acataba militarmente sus decisiones.

Hubble fue un buen atleta en su juventud, aunque adornó sus hazañas con ditirambos atrevidos. También las exageró en las dos guerras mundiales y en otras circunstancias, hasta tal punto que cuando a su suegro le dijeron cómo había sido Hubble antes de su boda, no podía creerlo. Fue buen esposo, pero peor hijo y hermano, pues se fue despegando paulatinamente de su familia de Missouri, hasta ignorarla por completo.

Pero, por otra parte, Hubble era un gran científico que, en palabras de Humason, «sabía lo que quería y cómo lograrlo». Conocía el cielo de cabo a rabo y era capaz de detectar cualquier cambio insignificante en una debilísima estrella en la placa fotográfica perteneciente a la galaxia de Andrómeda. Pasó una gran parte de su vida mirando placas al trasluz. Era infatigable y tenaz. Cuando sus compañeros acababan la noche de observación extenuados, tiritando y bostezando, para él era el mejor momento del día. Iba a observar aunque las condiciones meteorológicas fueran «desastrosas», dicho sea con segunda intención.

Algo que resulta curioso es que para ser uno de los grandes astrónomos de la historia, la formación de Hubble como físico y como astrónomo fue muy deficiente. Sus estudios fueron de derecho y no estaba capacitado para entender mínimamente los avances teóricos, pero se encaramaba por todos los recovecos de la cúpula del mayor telescopio del mundo.

De todas formas, su capacidad legendaria de trabajo sufrió un grave declive tras su entrevista con Einstein. La vida de Hubble se puede dividir en dos períodos muy diferentes, antes y después de esta entrevista. Tras ella llegó la fama y la popularidad, y con la popularidad los honores, los laureles, la entrada en la alta sociedad, las cenas con los personajes más famosos de la ciencia y el arte. Hubble hacía interminables viajes a Inglaterra y a Europa, pasaba largas temporadas pescando en un río perdido en Colorado, dedicaba una gran cantidad de tiempo y energía a las relaciones sociales y a su pertenencia a ateneos y otros foros culturales. En el telescopio ya estaba Humason, hombre sin formación alguna pero dotado de una inteligencia natural fuera de lo común.

A su director, Adams, le irritaba el tren de vida que llevaba Hubble —un astrónomo de su plantilla— y pretendió reducir su salario. Sus vacaciones tenían que ser de un mes, como las de los demás. Además, le irritaba que cuando se publicaban sus conferencias en Europa no apareciera por ninguna parte su filiación a Mount Wilson. Tal reducción de salario no se llevó a cabo, quizá afortunadamente, porque Hubble era un astrónomo especial, que requería y merecía un trato preferente, en beneficio incluso de Mount Wilson y de la ciencia internacional. A Hubble no le importunaban demasiado las amenazas de Adams porque no tenía problemas económicos desde su matrimonio con la hija de uno de los banqueros más prósperos de Los Ángeles. Y supo sortearlas al ganarse la confianza de los magnates del Instituto Carnegie —del cual Mount Wilson dependía— de tal forma que todo quedó en una rabieta prolongada de Adams, que encontró su venganza al conseguir en su jubilación que Hubble no fuera nombrado su sucesor como director de Mount Wilson, a pesar de que poseía mayor prestigio científico.

En la biografía de Hubble hay claroscuros, pero hoy nadie duda de que merece un puesto de rango especial, de primera fila, entre todos los grandes pensadores de todos los tiempos. Hoy se emplean sin discusión términos como ley de Hubble, tiempo de Hubble, constante de Hubble, flujo de Hubble, clasificación de Hubble y tantos otros nombres hasta llegar al telescopio espacial Hubble, que, en cierto modo, tiene una misión que pretende ser la continuación de la obra de aquel gran científico.

Edwin Hubble no recibió el premio Nobel a pesar del apoyo incondicional del astrónomo indio Subrahmanyan Chandrasekhar (que sí lo obtuvo). Cuando estaba vivo no había Nobel para astrónomos; cuando murió, no había Nobel a título póstumo. La evolución de su ciencia está lógicamente bien documentada con sus artículos y sus relaciones interpersonales con otros científicos. Hubble, en cambio, no hablaba mucho de su persona y sus creencias, pero contamos con el diario de su propia amante esposa, aunque poco objetivo y censurado por ella misma, y con las opiniones de sus hermanas menores Helen y Elisabeth, que llegaron a avanzada edad y fueron entrevistadas por sus biógrafos pioneros.

1889 Nace en Marshfield, Missouri, el 20 de noviembre, Edwin Powell Hubble, tercero de los ocho hijos de John Powell Hubble y Virginia Lee James (Jennie).

1896 Fallece su hermana Virginia, lo que lleva a Edwin a una profunda depresión por autoinculparse.

1900 Muere el abuelo materno. Los Hubble se mudan a Wheaton.

1906 Ingresa en la Universidad de Chicago, donde estudia derecho e iniciación a ciencias.

1908 Entra como ayudante del laboratorio de Robert Andrews Millikan, futuro premio Nobel de Física en 1923.

1910 Observación del cometa Halley. Consigue una beca Rodhes y estudia derecho en Oxford.

1913 Muere su padre de malaria. Regresa a casa con su familia, ahora en Louisville.

1914 Ingresa en el observatorio Yerkes para realizar su tesis doctoral.

1916 Se le ofrece una plaza en el observatorio Mount Wilson.

1917 Lee la tesis doctoral. Se alista en el ejército como voluntario para combatir en la Primera Guerra Mundial.

1919 Estancia en Cambridge. Al terminar la guerra, Hubble se incorpora al observatorio Mount Wilson.

1923 Descubre una cefeida en la nebulosa de Andrómeda. Establece la primera determinación de la distancia a dicha galaxia.

1924 Contrae matrimonio con Grace Leib.

1929 Escribe el primer artículo avanzando la ley de Hubble.

1931 Aparece el segundo artículo que contiene la ley de Hubble. Tiene lugar el encuentro entre Einstein y Hubble.

1934 Hace una estimación de la densidad del universo. Es nombrado doctor *honoris causa* por la Universidad de Oxford. Muere su madre.

1940 Principios de la Segunda Guerra Mundial. Recibe la medalla de oro de la Royal Astronomical Society. Se pronuncia públicamente como probritánico contra Hitler.

1945 Termina la Segunda Guerra Mundial. Hubble vuelve a Mount Wilson.

1949 Realiza las primeras observaciones con el telescopio de Monte Palomar. Sufre un ataque al corazón.

1953 Muere el 28 de septiembre por trombosis cerebral.

CAPÍTULO 1

Hubble, el hombre

Edwin Powell Hubble opinaba sobre los biógrafos que había que ser cauteloso con ellos. A su vez, los biógrafos de Hubble también deben ser cautelosos con él, porque no es sencillo describir su vida respetando a la vez el mito y la verdad. Su eficacia y calidad como científico están, en algunas ocasiones, en contraste con su actitud personal. Podríamos resumir la biografía de Hubble diciendo que era un cuasi-militar cuasi-inglés que reconoció por vez primera cuán vasto y vacío es el universo.

William H. James, el médico de Marshfield (Missouri), tuvo que atender a un muchacho que había sufrido un mortal accidente. Enganchado en el arnés y arrastrado por el caballo, el joven fue llevado a casa del médico envuelto en una sucia mezcla de sangre y barro. Tenía la cara desfigurada y había perdido la consciencia. El doctor James llamó en su ayuda a su adolescente hija Virginia. Pero la pobre chica, ante el espectáculo del amasijo de tierra y carne desgarrada, tuvo que vomitar y no pudo ser de mucha ayuda.

El doctor James fue consiguiendo la recuperación del joven, aunque su figura seguía aún tan magullada que la infeliz Virginia, o Jennie, como se le llamaba familiarmente, se juró que nunca más querría volver a ver a aquel joven, John, que tan angustiosa presentación había tenido en su casa.

Pero no fue así. El joven, una vez repuesto, siempre atendido en la casa de los James, recobró su aspecto fuerte y hermoso. Era extremadamente alto y sus ropas le quedaban siempre cortas. La también hermosa Jennie no solo desistió de su interiorizado juramento, sino que... se casó con él.

La boda no fue inmediata, pues Jennie tenía que terminar sus estudios, pero no tardó en celebrarse. En 1884 se casaron Virginia Lee James, nacida en 1864, y John Powell Hubble, nacido en 1860. El tercero de sus ocho hijos, nacido en 1889 en Marshfield —que entonces no tenía más de mil habitantes—, fue Edwin

Powell Hubble, el bebé que habría de convertirse en uno de los grandes astrónomos de todos los tiempos.

Los Hubble, John y Jennie y sus dos hijos anteriores, Henry James y Lucy Lee, vivían entonces en Springfield, Missouri, pero se trasladaron a Marshfield para que el abuelo William James pudiera asistir al parto de su hija. El alumbramiento, a media noche, fue a la luz de queroseno, y en el cuarto de estar, por ser el único con chimenea, ya que tan feliz suceso para la humanidad tuvo lugar un frío 20 de noviembre.

El abuelo materno, el doctor William, fue un curioso personaje de agitada vida. Había aprendido medicina de la mano de un solo maestro y fue uno de los aventureros de la fiebre del oro en California. No encontró el preciado metal, aunque fue propietario de una mina de cuarzo que pronto se agotó. Se dedicó entonces a la especulación, principalmente con los terratenientes españoles, hasta que regresó a Missouri, donde compaginaba su labor de doctor del pueblo de Marshfield con un almacén de droguería donde se vendía de todo.

Con los materiales que allí se vendían fabricó para su nieto Edwin un telescopio. En aquellos tiempos la gran atracción astronómica era Marte, pues Percival Lowell (1855-1916), Giovanni Schiaparelli (1835-1910) y otros habían «descubierto» los famosos fantasmales canales, indicios deseados de vida inteligente en Marte, divulgados magistralmente por el astrónomo francés Camille Flammarion (1842-1925). Podemos imaginar la excitación de abuelo y nieto al aproximarse una oposición de Marte, cuando el planeta rojo está más cerca de la Tierra, solo a tres minutos luz, aproximadamente.

Su nieto estaba fascinado con él. El abuelo le contaba sus aventuras y le hablaba de sus raíces. Su abuelo, es decir, el tatarabuelo de Edwin, había sido negrero. Además, su apellido, James, recordaba el de un famoso forajido en la historia de Missouri: el del mítico bandido Jesse James. ¿Existía alguna relación familiar entre el científico Hubble y el bandido, que compartían el mismo apellido y región de origen?

Parece que sí. Un día, un familiar de William, llamado John «Bud» James, recibió la inesperada visita del temible bandido. Se

JESSE JAMES


Jesse James (izquierda) y su hermano Frank en 1872.

Jesse Woodson James (Clay, Missouri, 1847-Saint Joseph, Missouri, 1882) fue un famoso bandolero, ladrón y homicida, cuyas hazañas en el lejano Oeste han sido llevadas a la pantalla en numerosas ocasiones. Su padre, de igual modo que el abuelo de Hubble, se aventuró en la fiebre del oro de California. Allí murió cuando Jesse tenía solo tres años. Vivió la guerra civil de Estados Unidos, que fue especialmente devastadora en Missouri. Participó en una guerrilla sudista, lo que, al parecer, le llevó al bandolerismo una vez alcanzada la paz. Siempre con su hermano Frank, organizó una banda que asaltaba bancos y trenes. En el asalto al pueblo de Northfield, la banda fue aniquilada, pero los James pudieron escapar y organizaron otra cuadrilla que fue la pesadilla del Gobierno. Se puso precio a su cabeza: 10000 dólares, vivo o muerto. Un integrante de su propia banda le mató por la espalda para conseguir la recompensa. La relación familiar con Edwin Hubble, a juzgar por las fechas, debió de ser muy próxima.

presentó con su hermano Frank y ambos iban cargados de pistolas y balas, como era su costumbre. Su visita era en son de paz. Solo querían saber si su común apellido se debía a una relación familiar real próxima. Pidieron comida y pasar allí la noche, charlando, pero la esposa de Bud estaba petrificada de miedo y no acertó a prepararles la cena. El propio Frank la preparó para todos. En la conversación mantenida entre Jesse y John Bud se concluyó que eran primos. Tras la charla, los hermanos cuatreros se durmieron en el suelo y marcharon al amanecer. Así pues, he aquí un dato curioso poco reseñado en la biografía de Hubble: era pariente próximo del famoso bandido Jesse James.

También su abuelo paterno ejerció una beneficiosa influencia educativa sobre Edwin Hubble. Martin Jones Hubble también descendía de negreros. Le llamaban «capitán Hubble», aunque su acción militar fue muy breve. Presumía de un linaje «limpio» porque todos sus antepasados provenían de Inglaterra, Irlanda o Gales, sin contaminación de sangre de otras razas. Tanto el carácter militar como este leve indicio de racismo del abuelo Martin debieron tener su peso en la formación del niño Edwin Hubble. Su principal actividad era una compañía de seguros, completamente familiar, en Springfield (cuya población entonces era de unos 8000 habitantes). Su esposa, Mary Jane, una mujer muy activa, era la presidenta de la compañía, su hijo Joel, el vicepresidente, y John, el padre de Edwin, el secretario. Los tres, junto con el propio Martin, formaban el comité de dirección. Pronto se convirtió en un influyente personaje de la localidad, era gran diputado de la Orden Masónica y gozó de notable prosperidad.

Transcurridos algunos años, ampliaron el radio de acción de su compañía de seguros y se trasladaron a Marshfield. En las inmediaciones, a unos dos kilómetros, construyeron un rancho, el «rancho Hubble», con una buena extensión de terreno donde establecieron una compañía de distribución de fruta, la Hubble Land and Fruit Company, especialmente dedicada a la comercialización de manzanas.

El padre de Hubble, John, fue educado en el más estricto puritanismo americano. Pudo matricularse en la Escuela de Derecho de la Universidad Washington en Saint Louis, Missouri. Sin embargo, no parece que finalizara sus estudios de derecho y, desde luego, no ejerció como abogado. Siguiendo los pasos de su padre, se dedicó a los seguros, primeramente empleado en la Old American Insurance Company de Chicago, y pasando después por varias otras compañías. Esto le obligó a numerosos viajes y ausencias de casa. Su propia familia tuvo que mudarse frecuentemente, oscilando su residencia entre Springfield y Marshfield, aunque también vivieron en Kansas City y en Saint Louis, por breves períodos de tiempo.

John educó a sus hijos en el puritanismo y en el estudio regular de la Biblia. La familia siempre comía unida en una gran mesa. Los hijos podían invitar a sus amigos, siempre que estos aceptaran

el ritual familiar. Al parecer, fue cariñoso con sus hijos, a pesar de su severo autoritarismo. No obstante, Edwin diría de él, más adelante, que le había arruinado la vida. La relación de John con su esposa Jennie no debió de ser fácil. Ella era adorable y soportaba el grave despotismo de su esposo con prudente sentido del humor.

La familia Hubble era aficionada a la música. Lucy tocaba muy bien el piano, el padre, el violín, Bill la mandolina, etc. Edwin no pareció inclinarse por ningún instrumento, quizá algo más por la mandolina, pero acostumbraba a estar presente en los conciertos familiares en los que se invitaba a los amigos.

La abuela paterna, Mary Jane, pequeña y activa, tuvo nueve hijos. El segundo fue John Powell. Este segundo nombre, Powell, que también llevó su nieto Edwin, era el apellido de soltera de Mary Jane, hija del general George Joseph Powell. Esta era una costumbre en aquellos tiempos, una forma de que el apellido de soltera de las mujeres no se perdiera del todo. Así que el segundo nombre de Edwin Hubble no era sino el apellido de su bisabuelo. De igual forma, el hermano mayor de Edwin se llamaba Henry James Hubble, siendo James el apellido del abuelo.

LA BECA RODHES

El joven Edwin, con veintiún años, consiguió una beca Rodhes para estudiar derecho en Oxford durante tres años. Durante su estancia allí guardó una estrecha relación con toda su familia. Escribía cartas independientes para su padre y su madre y para cada uno de sus hermanos. Su madre le sugirió que volviera en unas vacaciones porque sabía de la inminente muerte de su padre. Pero como no le comunicó claramente el motivo, Edwin no volvió a casa y no estuvo en el entierro de su padre, que coincidió con el período final de su beca.

En cierto modo, para él fue una liberación, pues su autoritario padre le había obligado a prometerle que no estudiaría astronomía y que no bebería ni una pizca de alcohol. No cumplió ni lo uno ni lo otro, aunque en ningún caso se excediera en la infracción. Tras

la muerte de John, Edwin redobló su participación en fiestas, en parte debido a esa liberación, en parte por aprovechar el poco tiempo que le quedaba para disfrutar de su venerada Inglaterra.

Sus padres se extrañaban y alarmaban de que nunca en sus cartas desde Oxford mencionara la iglesia. ¿Estaba Edwin abandonando su fervor baptista? Él les tranquilizaba, pero les ocultó que se había interesado por el catolicismo, aunque hubiera sido solo por una curiosidad cultural. Era cierto que iba perdiendo la piedad inculcada en su infancia, pero le gustaba visitar antiguos monasterios, especialmente en ruinas, más por su atractivo histórico y artístico.

CECIL JOHN RODHES



Rodhes (1853-1902) fue un multimillonario británico que murió sin descendencia. Su dinero se empleó en proporcionar becas a estudiantes destacados, una por cada estado estadounidense, cada una de 1500 dólares anuales, por tres años. Los beneficiarios no debían ser ratas de biblioteca, sino que además de ser brillantes estudiantes tenían que poseer muchas otras virtudes, como franqueza, coraje, devoción al deber, espíritu de protección al débil, etc., así como éxito en la práctica deportiva. En definitiva, el candidato tenía que ser elegido como si fuera previsible que acabara siendo el presidente de Estados Unidos, en palabras del mismo Rodhes. Para acceder a la beca, alegando méritos, Hubble consiguió que se le eligiera vicepresidente de su clase y recogió informes favorables de sus profesores. Muy significativo, moderadamente elogioso, fue el comentario que recibió del futuro Nobel Millikan, su profesor de laboratorio. Hubble fue el estudiante elegido como becario Rodhes en el estado de Illinois. En 1910 partió hacia Oxford, donde podría estudiar lo que quisiera y residir en el colegio que le apeteciera. Eligió el Queen's College. ¿Podría, al fin, aprovechar la beca para estudiar astronomía? Pues no: en Oxford estudió nuevamente derecho, por imposición paterna.

Con veinticuatro años, Edwin volvió de Oxford como un héroe ante su familia. Especialmente sus hermanas Helen, con catorce años, y Betsi, con ocho, estaban entusiasmadas, atónitas ante el aspecto y el habla, con exótico acento inglés, tan diferentes de como los recordaban. A pesar de no ser el mayor, ocupaba el puesto del extremo de la mesa, sustituyendo en esto a su padre fallecido. Toda la familia estaba orgullosa y pendiente de él.

La familia se había empobrecido tras la muerte del padre. Aunque tanto John como su padre, el abuelo Martin, habían tenido una posición desahogada, ahora ya no era así. Martin, que iba en silla de ruedas, repartió el rancho entre sus muchos hijos y poco le había correspondido a John. Las numerosas deudas, en parte debido a la misma enfermedad de John, habían llevado a la familia a una situación económicamente comprometida. El hijo mayor, Henry, tenía un trabajo con muy poco sueldo. Lucy daba clases de piano, pero ganaba poco dinero. Bill estaba estudiando agricultura y acabaría siendo el sostén de la familia, pero en 1913 aún no era más que un estudiante. Los tres hermanos pequeños estaban por criar. Las esperanzas estaban puestas en el arrollador ímpetu de Edwin, con sus maneras exquisitas y su brillante porvenir como abogado. Pero Edwin no respondió a las expectativas y fue más bien una carga añadida para la pobre madre Jennie. Nunca trabajó como abogado ni en nada que tuviera relación con su formación en derecho. Paseaba su hermosa figura, pero no aportaba dinero alguno para su madre viuda.

Edwin empezó con sus primeros trabajos como profesor de español en una escuela de señoritas en New Albany, Indiana. Los norteamericanos empezaban a comprender que el español había de ser el idioma del futuro, pues la apertura del canal de Panamá facilitaría las relaciones comerciales con Sudamérica. En este mismo colegio también enseñó física y se convirtió en el entrenador del equipo de baloncesto. Las alumnas estaban muy contentas con su nuevo apuesto profesor. Aprendían bien con él y, especialmente, el equipo de baloncesto cosechó triunfos muy sonados. Tanto es así que le dedicaron la memoria anual con la siguiente inscripción:

> Para Edwin P. Hubble, nuestro querido profesor de español y de Física, quien ha sido un leal amigo con nosotras en nuestro último

año, siempre dispuesto a animarnos y a ayudarnos, tanto en la escuela como en el campo. Nosotras, la clase de 1914 le dedicamos con cariño este libro.

¿Qué puede enorgullecer más a un profesor?

Pero Hubble estaba perdido, sentía una nostalgia de Inglaterra que le entumecía, volver a su casa de Louisville se le antojaba una trampa para sus ilusiones, aunque no supiera cuáles eran estas. No quería dedicarse eternamente a las clases en un colegio. Su formación había sido deficiente, no se sabe bien por qué no quería o no podía ejercer como abogado. Quería ser astrónomo pero… solo había recibido una asignatura de astronomía descriptiva de su querido profesor Forest Ray Moulton (1872-1952), cuyas teorías eran consideradas erróneas o incluso ignoradas. A los veinticinco años, ni aportaba dinero a la familia ni sabía qué hacer. Ni siquiera tenía novia.

Fue Bill quien, renunciando a sus sueños, acabó sacando a la familia adelante, por lo que su madre y sus hermanas pequeñas le adoraron como a un héroe. Edwin se fue desentendiendo progresivamente de la familia, especialmente tras el matrimonio con la rica viuda Grace Leib. A pesar de su desahogada situación económica, jamás envió dinero a su madre, que no lo tenía. Grace nunca conoció ni a su suegra ni a sus cuñados ni tampoco mostró el más mínimo interés por ellos. Hubble no quiso acudir al entierro de su abuelo paterno, Martin, en 1920, a pesar de que en la niñez ambos se habían entendido muy bien.

LA MUERTE DE LA MADRE

Demos un salto en el tiempo para ver cómo acabó la relación de Hubble con su familia, tan estrecha en un principio. Hubble, con cuarenta y cinco años, casado con Grace, había borrado completamente de su memoria sus raíces.

La muerte de la madre, Virginia Lee Hubble, tuvo lugar en 1934, coincidiendo con uno de los frecuentes e interminables viajes a Eu-

ropa de Edwin, cuando le hicieron doctor honoris causa por la Universidad de Oxford. La familia, que permanecía muy unida, quiso llamar al hijo pródigo, famoso ya, pero no sabían dónde estaba. Un amigo de la infancia, Albert Colvin, quiso encontrar a Hubble para comunicarle la muerte de su madre y acudió al banquero John Burke, el suegro de Hubble, para ver si podía localizarle.

Entre Burke y Colvin hubo una extraña conversación, desconcertante para ambos. Los Burke tenían una excelente opinión de su yerno como marido de su hija, pero no tenían ni idea de quiénes eran los familiares de Edwin. ¿Cómo era posible? Colvin le contó al banquero muchos detalles, todos los que recordaba, de la infancia y juventud de Edwin, lo que Burke oyó atónito y con muchísima atención. Colvin no se explicaba que Edwin nunca hubiera hablado de su familia y de la situación empobrecida de su madre en particular. ¿Qué versión de sí mismo había dado Hubble a su familia política?

¿Abogado? Nunca ejerció como abogado. ¿Heridas de guerra? No lo creía Colvin. ¿No sabía Burke ni quién fue el padre ni la madre ni los hermanos de Edwin? ¿Qué le había contado a Burke su hija sobre la infancia y la juventud de su yerno?

Tanta atención y placer puso el buen Burke en lo que le contaba y le escribía Colvin, que le invitó a pasar el fin de semana en Los Ángeles, aunque Colvin se excusó. De todas las formas, el sorprendido banquero despidió al más sorprendido amigo, con gratitud y contento por tanta información que él debería haber tenido y no tenía, o tenía incomprensiblemente desfigurada. Burke también ofreció 100 dólares a este amigo de la infancia, quien los rechazó cortésmente.

Grace, que escribía su diario, eliminó las páginas de los primeros encuentros con Edwin. También fue la depositaria de los papeles de su marido cuando murió. Las cartas a sus padres, que fueron tan frecuentes cuando, soltero aún, estuvo como becario en Oxford, también debieron persistir cuando se casó, pero, probablemente, Grace las hizo desaparecer.

Esta es una página extraña en la biografía de Edwin Hubble. ¿Por qué Grace actuó así? ¿Por qué él mismo procuró ocultar su origen, su infancia y su juventud? ¿Por qué en la boda no estu-

vieron presentes los Hubble? ¿Sentía impresentable su origen en Missouri? ¿Se había inventado un brillante pasado como abogado y no quería verse descubierto? ¿Se había inventado sus hazañas en la Primera Guerra Mundial?

Este es el testimonio de su hermana Betsy, mucho después de que Edwin muriera, a sus más de cien años de edad:

> Siempre me pregunté si Edwin se sentía culpable por no haber hecho más. Pero los grandes hombres tienen que seguir su propio camino. Siempre hay un límite que tiene que ser pisoteado.

LA EDUCACIÓN

En la educación de muchos niños hay algo de astronomía y es tentador rebuscar en la infancia de un gran astrónomo el germen de su futura dedicación. En el caso de Hubble podemos encontrar vestigios infantiles de su futura inclinación, pero no tan profundos que nos hubieran augurado una vocación temprana. Ya se ha citado que su abuelo William, el romántico de la familia, le construyó un telescopio. El niño Edwin se interesó, sí, por el firmamento, pero también por muchas otras cosas. El 23 de junio de 1899, cuando Edwin tenía diez años, su amigo Sam y él pidieron permiso a sus padres para observar un eclipse total de Luna. La contemplación duró toda la noche.

En Wheaton, sus notas fueron buenas aunque no deslumbrantes, llamando la atención que un futuro astrónomo estudiara pocas matemáticas. Tuvo dificultades en ortografía, que le seguirían el resto de su vida. Quizá no tuviera especial empeño en someterse a una ortografía tan arbitraria como la de su propio idioma. Como estudiante, siempre tenía su propia teoría para cualquier cuestión y siempre ponía en duda lo que dijera cualquier profesor.

Y así, Edwin Hubble, con diecisiete años, se matriculó en la Universidad de Chicago. A pesar de la cercanía de Wheaton, John prefirió que viviera en el campus. Pero, ¿en qué consistirían los estudios de su hijo Edwin? El muchacho quería estudiar astronomía,

pero su autoritario padre no podía permitirlo: estudiar astronomía era una extravagancia. Su hijo tenía que estudiar algo sensato, por ejemplo, derecho, como él. Edwin sabía que su padre era inflexible, por lo que recurrió a una estratagema. Compaginaría los estudios de introducción al derecho con los de preparación en ciencia y técnica, sin decirle que estos eran necesarios para los cursos avanzados de astronomía. Tenía la injustificada esperanza de que, tras el primer año, su padre cambiara de opinión.

> «Edwin Hubble, te he observado durante cuatro años y nunca vi que estudiaras más de diez minutos [horror en los rostros de Edwin y de sus padres]. He aquí un estudiante para la Universidad de Chicago [alegría en los rostros de Edwin y de sus padres].»
>
> — Palabras del superintendente de la escuela de Wheaton al llegar el acto de graduación de Hubble.

Los estudios de ciencia y técnica de este primer año incluían, además de matemáticas y química, la deseada asignatura de Astronomía Descriptiva. Su profesor fue el doctor Moulton, que tenía el nombre extrafalario de Forest Ray. Debió corresponder a la avidez del joven Edwin, que tanto necesitaba una iniciación a la astronomía. El libro de Moulton *Introduction to Celestial Mechanics* no abandonó la estantería de Hubble en toda su vida. Menos conforme estaba Edwin con la insistente preocupación de su profesor por demostrar la compatibilidad entre ciencia y religión.

La Universidad de Chicago debió de parecerle fascinante al joven Hubble. Era una imitación de las universidades inglesas de Oxford y de Cambridge, incluso su Mitchel Tower se construyó inspirada en la Magdalen Tower de la Universidad de Oxford. Tanto los edificios como la educación remedaban los de las antiguas, nobles, elitistas y afamadas universidades británicas. Su ambiente formal debió de estimular su deseo de estudiar en las auténticas de Oxford o de Cambridge.

Tuvo que soportar novatadas, como en todas las universidades y colegios universitarios del mundo. Pero él también las hizo, cuando estaba ya en su segundo año, participando en el lanza-

miento masivo de huevos a los estudiantes de teología. Esta travesura tuvo su trascendencia y llegó a oídos del enérgico John, que incluso quiso retirar a su hijo de la universidad. Afortunadamente, el abuelo Martin, más humano, quitó importancia a la novatada, confiando en el excelente futuro de su nieto.

En la Universidad de Chicago la física tenía un alto prestigio. En 1907, cuando Hubble tenía dieciocho años, se concedió el premio Nobel al director del Departamento de Física, Albert Abraham Michelson, por sus medidas de la velocidad de la luz. En su célebre experimento interferométrico con Edward Morley demostró que la velocidad de la luz era la misma, independientemente de la dirección de la Tierra a lo largo del año. Este experimento ponía en jaque el concepto del éter como medio en el que se propagaban las ondas electromagnéticas y podría haber servido para que Einstein estableciera el principio relativista de la invariancia de la velocidad de la luz. El caso es que el premio Nobel de Física de Michelson fue el primero concedido a un estadounidense.

Michelson tenía como profesor asociado a otro futuro premio Nobel de Física en 1923: Robert Andrews Millikan. Este tuvo una relación más directa con Hubble, pues fue su profesor de Mecánica, Física molecular y Calor. Hubble terminó los estudios de dos años con el título Junior College Scholarship in Physics, aunque seguía sin haber recibido enseñanza puramente astronómica. Pero lo más interesante es que Millikan le propuso como asistente en su propio laboratorio y con él estuvo trabajando el joven Hubble.

Millikan obtuvo el premio Nobel de Física en 1923 por haber probado la existencia del electrón y determinado su carga eléctrica, considerada hasta muy recientemente como la carga más pequeña existente. ¿Qué hizo Hubble bajo la dirección de Millikan? No se conoce. En su autobiografía, Millikan no menciona a Hubble, a pesar de la fama de que Edwin ya disfrutaba.

Pero Millikan no era un astrónomo y, realmente, la formación astronómica de Hubble fue muy escasa, prácticamente reducida a las clases de Forest Ray Moulton. Su abuelo le consultó sobre una estrella anormalmente brillante que resultó ser Marte. Dicho planeta tiene una distancia a la Tierra muy variable y, por tanto,

grandes diferencias de brillo. Se debe a la trayectoria regular de ambos planetas, pero Hubble explicó a su abuelo que se debía a unas perturbaciones gravitatorias entre ambos astros, lo cual es un error astronómico de bulto. Estas perturbaciones son cuantitativamente insignificantes. No debe, sin embargo, extrañarnos mucho ese error de juventud. Entre los más consagrados científicos siempre pueden encontrarse páginas impresentables como pecados de inmadurez.

> «La ciencia es una actividad humana realmente progresiva. El conjunto del conocimiento positivo se transmite de generación en generación.»
>
> — **Edwin Powell Hubble, *The Realm of the Nebulae* (1936).**

Quizá la época que más influyó en la formación de Hubble fue la de su estancia en Inglaterra cuando estudió en Oxford durante tres años, con la beca Rodhes, donde se arraigó la profunda anglofilia que comentaremos más tarde.

Como era de esperar, el derecho le parecía árido, pero había prometido a su padre no estudiar astronomía. No comunicó en sus cartas que había establecido una relación estrecha con Herbert Hall Turner, profesor de Astronomía de la Universidad de Oxford, que vivía cerca del observatorio. Edwin fue a cenar varias veces a la casa de este profesor, y la señora Turner le tomó cariño maternal.

Como estudiante en Oxford, Hubble gozaba de muchas vacaciones. Las empleó en viajar, principalmente a Alemania, donde palpó en primera persona la tensión que acabaría llevando a la Primera Guerra Mundial.

En Oxford estuvo hablando en cierta ocasión con unos astrónomos compañeros de Turner. Por casualidad, estos se pusieron a hablar de las teorías de Moulton, precisamente el único astrónomo que le había enseñado astronomía. Por tanto, Hubble las conocía muy bien. Moulton era conocido entre los astrónomos, pero en absoluto era un científico cuya fama hubiera trascendido a la esfera popular. Intervino Hubble en la conversación dicién-

doles que no habían comprendido bien la teoría de Moulton. Los astrónomos le miraron entre asombrados e indulgentes. ¿Un estudiante de leyes se atrevía a opinar sobre cuestiones astronómicas tan especializadas? Hubble argumentó algo así como:

> El Sol no pudo tener tanto momento angular para formar los anillos protoplanetarios de Laplace. La teoría de Moulton-Chamberlin de los planetésimos que fueron eyectados y posteriormente fundidos entre sí en regiones dinámicas para formar los grandes planetas puede explicar mejor los datos del eclipse de mayo de 1900...

Hubble siguió disertando ante los cada vez más impresionados e incrédulos astrónomos. ¡Un estudiante de derecho... dándoles lecciones de astronomía!

Pero volvió de su añorado Oxford a Louisville, donde entonces residía su familia, y se encontró que no podía ejercer derecho. Quería ser astrónomo pero su formación era muy escasa. Tras algunos trabajos provisionales, como profesor de Español y de Física y como traductor de cartas comerciales del inglés al español y del español al inglés, y de algún otro palo de ciego que probablemente dio pero de lo que no hay constancia, se decidió a escribir a su antiguo y querido profesor de Astronomía, Forest Ray Moulton, preguntando si tenía acceso a una beca de iniciación a la astronomía para hacer una tesis.

Moulton contestó negativamente a su antiguo y querido alumno, pero trasladó la petición a Edwin Frost, director del observatorio Yerkes de la Universidad de Chicago. Hizo más, puso en contacto directo a ambos Edwins y, finalmente, Hubble habría de tener un período de preparación en el observatorio, situado a unos 100 km de Chicago, en Williams Bay. Le dijo además que se incorporara pronto para que pudiera asistir a la reunión de la Astronomical Society of America. Así lo hizo Hubble.

Más adelante, cuando acabó la Primera Guerra Mundial, y antes de incorporarse al trabajo que le habían ofrecido en Mount Wilson, en Cambridge tuvo la oportunidad de asistir a unas clases de astronomía esférica impartidas por Arthur Eddington (1882-1944). Estas fueron muy breves, sobre un tema menor y por un

profesor que, siendo uno de los grandes astrónomos de todos los tiempos, no era precisamente un Demóstenes. De él se dijo que nunca en su vida había terminado una frase.

> «No sabemos por qué hemos nacido en este mundo, pero sí podemos saber qué clase de mundo es este, al menos en sus aspectos físicos.»
>
> — HUBBLE A SU ESPOSA EN UNA DE LAS POCAS OCASIONES EN QUE HABLÓ EN MATERIA DE RELIGIÓN.

Esta fue toda la formación de Hubble como astrónomo. Astronomía descriptiva por Moulton y unas clases breves de astronomía esférica por Eddington. Esta falta de formación fue compensada por la habilidad, la inteligencia y la memoria de Hubble. Conocía el cielo perfectamente. Cuando examinaba una placa, podía apreciar cualquier cambio insignificante con respecto a otra tomada anteriormente que había retenido en su mente. Así, era capaz de detectar una estrella «nova» en una galaxia directamente sobre las placas. Manejaba muy hábilmente los telescopios, enmendando pronto cualquier defecto de seguimiento, incluso con un movimiento convulso de su cuerpo. Tenía las placas esparcidas por la mesa en perfecto desorden, pero acertaba en escoger a la primera la que estaba en discusión. Conocía las cúpulas mejor que su casa, por ellas se movía con precisión, incluso acrobáticamente, y sacaba el máximo rendimiento de los telescopios, aunque hubiera mal *seeing* (término astronómico que indica el grosor de una imagen puntual debido a la turbulencia atmosférica).

Cuando la noche avanzaba y el frío helaba las manos y hacía saltar las lágrimas y todos los demás astrónomos luchaban por mantener viva la concentración a pesar del cansancio y el frío, Hubble permanecía activo y dispuesto. Con telescopios así no se podía perder un instante y había que estar concentrado cada segundo de oscuridad. Cuando se cerraba la cúpula y unos seres fantasmales volvían a su habitación ateridos y sonámbulos en la incipiente aurora, Hubble estaba tan fresco.

A pesar de su educación en el más estricto puritanismo, Hubble pronto dejó de ir a la iglesia y no le gustaba hablar de religión

ni de las posibles implicaciones que su trabajo podía tener en ella. Por contraste, tenía muchos libros sobre religiones antiguas y grandes teólogos.

EL CARÁCTER

De niño, Edwin era sensible y cariñoso, y no hacía presagiar el carácter aparentemente altivo, distante, competitivo y cortante que caracterizó su madurez. Pero pronto su trato se hizo difícil, sobre todo con sus más cercanos colegas; algunos le admiraban y otros le temían, no había término medio.

En su infancia hubo un hecho que pudo haber tenido repercusiones sicológicas indelebles. Su hermanita Virginia, de poco más de un año, estropeaba constantemente sus castillos de juguete. Edwin, con seis años, decidió castigarla pisándole la mano. El llanto de la niña sería la complacencia de Edwin, que así aleccionaba a su hermana. Pero Virginia murió a los pocos días de una enfermedad desconocida y Edwin se autoinculpó atribuyendo su muerte al pisotón. Su arrepentimiento y desconsuelo fueron tan absolutos que hubieran conducido a una nueva tragedia, si no hubiera sido por el trato dulce de sus padres y abuelos.

En la escuela de Wheaton, en 1901, empezó ya a mostrar su carácter difícil. Uno de sus compañeros de entonces contó:

> Ed no tenía ningún amigo... Era en buena parte por su culpa puesto que no mostraba ningún deseo de ser amigo de ninguno de nosotros. Era de natural arrogante y se comportaba como si tuviera la respuesta para todo.

Pero, en aquella misma escuela, alguien se dio cuenta del talento natural del chaval. Una de sus maestras, la señorita Grote, predijo: «Edwin Hubble será uno de los hombres más brillantes de su generación». Es curioso que a la edad de doce años se diera ya esa disparidad de opiniones que sería una constante en su vida, esa diferencia paradójica entre su mal talante y su buen talento.

Su espíritu competitivo se puso pronto claramente de manifiesto. Su compañero en Oxford, Elmer Davis, se encontraba deprimido dudando de sus posibilidades futuras y le confesó que prefería ser el primero en provincias que el último en Roma. Edwin le respondió: «¿Y por qué no el primero en Roma?». Así que Hubble no dudaba si ser cabeza de ratón o cola de león. Había que ser cabeza de león.

> «Cuando estaba contigo, tú eras la única persona en el mundo, pero si te alejabas, te olvidaba. Su cabeza estaba en las estrellas.»
>
> — Comentario de Helen, una de sus hermanas menores, sobre Hubble.

En Oxford, Edwin no se dejó llevar ni por los estudios que le había impuesto su padre ni por los que le había prohibido, pero no desaprovechó el tiempo. Disimulaba escribiéndole a su padre: «Mis ambiciones en este momento son un libro, una silla cómoda y una chimenea». Esta frase suya no refleja su intensa actividad en múltiples aventuras. En otra carta a su padre, le decía: «No veo a dónde voy pero estoy en mi camino». Le ocultaba su vacilación para seguir con el tedioso (para él) derecho y su creciente afición por la astronomía.

A su vuelta a Estados Unidos, cuando la familia estaba en una situación económica apurada, exigía a su madre Jennie que preparara el té con tarta para sus antiguos camaradas de la beca Rodhes, lo que recordaban con algo de resentimiento sus hermanas Helen y Betsy muchos años después.

Hubble tenía una amplia gama de conocimientos, con los que sorprendía con brillantez a sus amigos o camaradas. Pero en ocasiones, esa brillantez no era sino la luz de las baratijas y espejuelos y su sabiduría tenía algo de comedia. Antes de la cena de las noches de observación, se le veía consultar la Enciclopedia Británica, leyendo algún concepto, o bien la historia de algún personaje no muy conocido. Durante la cena, sacaba a colación lo que acababa de leer, sin mencionar la fuente. Cuando los contertulios confesaban su ignorancia o cometían algún error por

falta de memoria, él les aleccionaba o les rebatía. Para ello, se dirigía a la Enciclopedia Británica que, claro, corroboraba lo que él había dicho, como que la había consultado de antemano unos minutos antes... Esto desagradaba a los ocasionales contertulios, sobre todo cuando alguien se dio cuenta de que había consultado la Británica ya antes de la discusión, en el mismo tomo que luego teatralmente había buscado.

En otras ocasiones, cuando en la Segunda Guerra Mundial estaba confinado en Aberdeen o en la isla de Spesutie debido a su puesto de director del departamento de Balística Exterior, también procuraba impresionar a sus visitas. Cuando recibía cartas oficiales, algunas del Gobierno, otras de alto secreto, otras del FBI, las echaba teatralmente a la papelera sin abrirlas. Cuando quien le observaba y admiraba por tan olímpico desprecio a la correspondencia oficial ya se había ido, Hubble rebuscaba en la papelera para recoger las cartas.

EL «HERMOSO» HUBBLE

Hubble siempre tuvo un tipo atlético, por lo que descolló en múltiples deportes en su juventud y afianzó su alta autoestima en su época de madurez y senescencia. Sus hermanas cifraban su hermosura en su estatura, seis pies y dos pulgadas (unos 1,90 m), una pulgada menos que su propio padre, recordando esta forma de medir la hermosura viril con la de caracterizar la calidad de un telescopio por el diámetro de su abertura. En sus años mozos pesaba unos 84 kg. Añadía a estas olímpicas proporciones una agilidad y una destreza de movimientos que más que augurar un futuro astrónomo se hubiera esperado de él un brillante deportista. Ya con once años, su amigo Sam se sorprendía de su calidad como patinador en un lago helado cerca de su casa, diciéndonos que sus piruetas eran toda una exhibición.

No es de extrañar que Hubble practicara el baloncesto, un deporte concebido para los altos. Era jugador destacado en un equipo de Wheaton y apareció a menudo en el periódico local.

También se inició con acierto en el fútbol americano, pero su padre le prohibió continuar por considerar que era un deporte peligroso y brutal. Sus esfuerzos para convencer a su padre se redoblaron al entrar en la universidad, pero su postura fue absolutamente inflexible, por lo que el «fenómeno de Wheaton», como así era llamado, no pudo formar parte del equipo de fútbol americano. Por todo ello, resulta sorprendente que sus padres no pusieran ningún reparo cuando Edwin se dedicó al boxeo.

En atletismo destacó en salto con pértiga, salto de longitud y de altura, lanzamiento de peso, disco, martillo, la carrera de la milla, que entonces existía, 110 y 220 m vallas, que también entonces se corría, etc. Algunos de sus récords: longitud, 5,59 m; altura, 1,74 m (especialmente meritorio teniendo en cuenta su edad —diecisiete años— y que entonces se saltaba con el estilo de «rodillo ventral»). En lanzamiento de peso superó los 12 m. En la Universidad de Chicago tuvo una memorable actuación como jugador de baloncesto.

En el verano, el estudiante Edwin encontraba trabajos cortos, en la zona de los grandes lagos, donde le ocurrieron múltiples aventuras, según él contó a sus hermanas. En una ocasión le asaltaron dos ladrones. «Gary Cooper» Hubble sonrió despectivamente y siguió andando. Entonces, notó la punta de una navaja pinchándole en el cuello. Hubble se volvió repentinamente y derribó a uno de los agresores, que cayó fulminado al suelo mientras el otro salió corriendo de estampía.

Hay que advertir que muchas de sus hazañas y aventuras, en las que él había sido el único testigo, eran probablemente embustes o exageraciones. Impresionaba así a su mujer, Grace, quien ingenuamente las transcribía en su diario. Antes se agarra al mentiroso que al cojo, por lo que hoy podemos saber que la sinceridad no fue una virtud destacada de Hubble.

En otra ocasión de ese verano, él y otro compañero tenían que tomar el último tren para volver a casa. Pero tal tren no llegó y tuvieron que recorrer una larga distancia durante tres días, sin comida. Cuando por fin llegaron a un sitio algo civilizado, Hubble, que no iba en absoluto exhausto, con altivez y aparente calma y despreocupación, dijo: «Hubiéramos matado un puercoespín o un gamo, pero no fue necesario».

En su estancia en Oxford como becario Rodhes también destacó en múltiples deportes, participando en las célebres regatas en las que la rivalidad entre Oxford y Cambridge centraban la máxima atención. También practicó boxeo, e incluso —dijo— llegó a enfrentarse con el campeón de Francia de los pesos pesados. Además del béisbol, no podía faltar el atletismo, donde volvió a destacar, como lo había hecho de más joven en Estados Unidos, en salto de altura, lanzamiento de martillo y peso, 110 m vallas y carreras de velocidad.

Hubble realizaba sus viajes por Europa frecuentemente en bicicleta. Así recorrió unos 1 500 km en su primer viaje por Alemania hasta llegar al Danubio. Su tipo atlético y su comportamiento refinado aprendido le abrieron las puertas de las casas de sus profesores y otros ambientes distinguidos. La señora Turner, esposa de Herbert Hall Turner, profesor de Astronomía de la Universidad de Oxford, le invitó a cenar aprovechando que había invitado también a una amiga de la familia. Cuando Hubble se retiró, la amiga dijo a la anfitriona:

> Me dijiste que habías invitado a un estudiante de Queen's a cenar, pero no me dijiste que se trataba de un Adonis.

En uno de sus viajes de vacaciones fue desde Oxford a la ciudad alemana de Kiel. Apreció mucho a su gente, noble y fuerte y con un sentido extremo del honor, que defendían con sable y pistola en frecuentes duelos. Intimó con un amigo llamado Kruger que quería aprender a boxear a cambio de dar a Hubble lecciones de sable. En la práctica del tenis, nuevo para él, Edwin desafió a los mejores jugadores. Tampoco podía fallar en un deporte que no había practicado anteriormente.

Un buen día, Edwin fue a nadar al mar. De pronto oyó gritos femeninos pidiendo socorro. En efecto, una hermosa rubia estaba siendo arrastrada por la resaca alejándola de la costa. Naturalmente, el «hermoso» Hubble se lanzó al agua y salvó a la joven. Aunque en un principio su marido y él se hicieron amigos, su sorpresa fue grande cuando el alemán le espetó que su comportamiento con su esposa exigía una satisfacción. Era un reto

de los temidos y frecuentes duelos de Kiel. Como se trataba de una cuestión de faldas, el duelo debía ser a pistola. Y así se llevó a cabo según las reglas protocolarias de la ciudad alemana. Tras contar los pasos y volverse, un inmutable Hubble disparó intencionadamente al aire. A continuación, el alemán también disparó al aire y el duelo terminó sin sangre, pero con el honor limpio.

No fue, al parecer, su único salvamento. Cuando estaba en el observatorio Yerkes, cerca de un precioso lago en el que Hubble solía nadar, la esposa de un profesor cayó al agua y estaba ahogándose. Se lanzó a salvarla, aunque la mujer respondía con manotazos y patadas propias de quien se ve cerca de la muerte. Como la profundidad no era mucha, la subió a caballo sobre sus hombros y andando se fue acercando a la orilla, ella con la cabeza fuera del agua, él con la cabeza bajo el agua, conteniendo la respiración hasta que la profundidad fue menor al acercarse a la orilla. Pero, en este caso, el agradecimiento del profesor fue frío y no pareció que se alegrara mucho del intrépido salvamento.

Cuando estaba de capitán de infantería como voluntario en el ejército americano en la Primera Guerra Mundial, un coronel profesional, desdeñando la preparación de los capitanes graduados que se habían alistado provisionalmente —como era el caso de Hubble—, quiso dar una lección de lo que era un «militar de verdad» como él. Entró en la sala de disparo, sacó su revólver y apuntó a la diana. De varios disparos dio algunos en el centro mismo y los otros muy cerca. Sonrió orgulloso mirando al capitán Hubble y al resto de los soldados y enfundó su revólver. Hubble, con calma, sacó el suyo y disparó varias veces encontrando el centro de la diana en todos ellos. El coronel profesional, Charles Howland, aunque al pronto sintió su orgullo herido, tomó gran aprecio a Hubble.

Pero el tiempo pasa y el hermoso rostro de Hubble se fue surcando de arrugas y su cuerpo atlético se volvió más flácido. El boxeador, atleta y jugador de baloncesto dio paso al pescador de truchas.

Hubble tuvo pocos estudiantes a quienes dirigir una tesis; su instrucción consumía más tiempo del que luego quitaban una vez formados. Pero en su etapa madura tuvo uno ciertamente desta-

cado: Allan Sandage. Pues bien, el joven Sandage se entrevistó con el conocido Edwin Hubble cuando ya tenía sesenta años.

Tanto Hubble como Grace le parecieron impenetrables y distantes. Su admirado Hubble, que él situaba junto a Copérnico y a Kepler, y al que conocía por fotografías, le desconcertó con su rostro demacrado y carnoso y su canicie avanzada. Pero mantenía su mejilla cuadrada y su mirada fría, de forma que le pareció un «hombre noble» con un bastón balanceado a la manera inglesa.

Sandage no estuvo mucho tiempo con su maestro. Pronto se fue a Río Blanco, en Colorado, a pescar y allí le dio un ataque al corazón del que tardó mucho tiempo en recuperarse. El breve contacto entre el profesor y el discípulo fue escaso pero decisivo, porque Sandage fue un prestigioso astrónomo, continuador de la obra de Hubble y de quien los astrónomos actuales tanto han aprendido.

ANGLOFILIA

Edwin Hubble era un «inglés» que había nacido y se había criado en Missouri. Empleó toda su inteligencia y toda la energía de su juventud en obtener la beca Rodhes que le permitiría estudiar en Inglaterra. Allá se fue y cuando volvió, al cabo de tres años, no solo había adoptado hábitos ingleses, sino que hablaba con el más puro acento de Oxford. Nunca ya perdería ese acento británico. Es muy probable que sus adoptadas maneras refinadas causaran desagrado en alguno de sus futuros colegas, que bien sabían de su origen en la patria de Mark Twain.

Un estudiante estadounidense que lo conoció —Warren Ault, futuro historiador— describió a Hubble a los dos años de estar en Oxford:

> Llevaba bastón y hablaba con un acento británico que apenas le podía entender. [...] Estos dos años le han transformado en un falso caballero inglés, tan falso como su acento. [...] Decidí que Oxford no haría eso conmigo.

Otro compañero suyo —el Rodhes de Iowa— contaba:

> Nos reíamos de su esfuerzo por adquirir una pronunciación inglesa extrema mientras que el resto de nosotros intentábamos conservar nuestra pronunciación nativa. Y la propia madre de Edwin tenía que releer y releer las cartas de su hijo, pues le parecían tan extrañas que dudaba de quién era realmente el remitente.

En uno de sus viajes europeos, Hubble estuvo en España. Pero de ese viaje se sabe muy poco. Fue a Cádiz, y es de suponer que para llegar hasta allí tuvo que atravesar toda España, pero nada quedó registrado de la travesía. En Cádiz tenía un amigo, hijo de un exportador inglés de vino de Jerez. Allí, en Jerez, visitaron las bodegas de González Byass, concretamente los afamados toneles de Cristo y los de los doce apóstoles, donde probaron los fabulosos vinos Tío Pepe y Palomino. Los vinos de los doce apóstoles y el Cristo —cuyo tonel es 33 veces más grande— tenían ya una tradición. Los visitantes firmaban antes de empezar a beber. Luego debían probar doce tipos diferentes de Jerez y, al final, debían volver a firmar. Las firmas antes y después, claro está, no se parecían en nada, lo que resultaba muy divertido. Hubble contó que le había impresionado ver en los toneles la firma de visitantes ilustres, incluida la del rey de España. Por aquel entonces, él todavía no era famoso, pero habría sido notorio que hoy pudiéramos ver la firma del famoso astrónomo en alguno de los vetustos toneles.

Insistiendo en la anglofilia de Hubble, resulta casi asombroso que de su viaje por España solamente sepamos lo que ocurrió allí en el lugar donde los ingleses habían puesto su interés y su huella. Aunque lo cierto es que Hubble sabía hablar español, movido por curiosidad natural y por el previsible interés comercial sudamericano. Ya se ha dicho que, a la vuelta de Oxford, dio clases de español, por lo que no podía tratarse de un conocimiento superficial. Llama la atención que en tan breve tiempo y sin que le diese importancia excesiva adquiriera este buen conocimiento del español.

También se puede apreciar por esta pequeña travesura etílica que Hubble no cumplió estrictamente el mandato de su padre de

no beber nada de alcohol. Edwin entonces bebía moderadamente cerveza y hasta se adentró en la cata de selectos vinos franceses. Seguramente, como «buen inglés», apreciaría también los excelentes vinos de Oporto y de Jerez.

Hasta en sus últimos días, Hubble seguía hablando con un inglés más de Oxford que los de Oxford. En una ceremonia, se pidió a Hubble que representara a la Universidad de Oxford. Pensó que, por tratarse de la universidad más antigua, él estaría el primero en la procesión de doctores con sus trajes académicos. Pero tuvo que sufrir la «humillación» de situarse tras un francés más bajito, ya que la Universidad de París era más antigua que la de Oxford.

EL MAYOR HUBBLE

Uno de los rasgos personales más acusados de Edwin Powell Hubble fue su carácter militarista. Vivió las dos guerras mundiales y en ambas se presentó como voluntario. Era muy consciente del peligro que suponía Alemania y respondió con valentía y eficacia. Ello le honra, desde luego, aunque hay que anotar también que su sensibilidad no era cosmopolita por completo. Más que salvar al mundo, a Hubble le importaba especialmente salvar a Inglaterra.

> «Tengo 25 oficiales bajo mi mando y en mi batallón hay 600 hombres. Yo entreno a los oficiales y ellos entrenan a los hombres.»
>
> — Palabras de un orgulloso Hubble a su madre refiriéndose a su estancia en Camp Grand.

Y también hay que hacer notar que su actitud castrense no se limitó a su participación en ambas guerras mundiales. Observaba en el telescopio con ropa militar y actuaba como si el observatorio fuera un cuartel. En la Primera Guerra Mundial adquirió el grado de «mayor» y le gustaba que le llamaran «mayor Hubble». De hecho, su gran colaborador, Milton Humason (1891-1972)

—apodado Milt—, personaje crucial para comprender la ciencia de principios del siglo XX, le llamó siempre «mayor Hubble» y le obedecía como a un superior en el escalafón militar. Su colega y enemigo Harlow Shapley estimaba que, más que ir a observar galaxias, parecía que Hubble se ponía el uniforme para ir al frente.

LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL

Aplazada provisionalmente su incorporación al observatorio de Mount Wilson, Hubble se alistó como voluntario en mayo de 1917. Su primer destino fue el cuartel de entrenamiento de Fort Sheridan, cerca de Evanston, donde había pasado parte de su infancia. Allí se preparaba para la guerra a los voluntarios graduados de Illinois. Eligió infantería. Pronto, debido a su espíritu militar, fue escogido «capitán estudiante». Al principio se le encargó que adiestrara a los otros voluntarios en la marcha nocturna guiada por las estrellas y participó en la organización de la instrucción en otras operaciones militares.

Posteriormente fue destinado como capitán a Camp Grand, al sur de Rockford, también en Illinois. Camp Grand era un campamento en construcción de grandes dimensiones. Estaban haciéndose las obras de ese cuartel, que iba a tener 1400 edificios para albergar a 115000 soldados. El capitán Hubble se puso al mando del segundo batallón del regimiento 343.

Todos estaban deseosos de cruzar el Atlántico y participar en el frente. El mayor Edwin Hubble fue elegido para ello en julio de 1918. Se embarcó, secretamente deseoso de que fueran atacados por un submarino alemán, siempre con su revólver bien dispuesto en su cintura. Al final, desembarcaron no lejos de Southampton.

La primera batalla no fue contra los alemanes, sino contra la gripe española. Esta fue una epidemia espantosa que se llevó la vida de entre 50 y 130 millones de europeos. No se ha identificado su naturaleza y su origen no fue España, a pesar del nombre. Quizá su erróneamente atribuida procedencia española se deba a que los países combatientes ocultaban el número de muertos por no alentar al enemigo, mientras que España, al ser un país

HARLOW SHAPLEY

De los muchos enemigos que tuvo Hubble hay que destacar al genial Harlow Shapley (Nashville, Missouri, 1855-Boulder, Colorado, 1972). Fue autodidacta hasta que llegó a la Universidad de Missouri. No sabía qué carrera elegir y decidió por orden alfabético. La primera carrera por ese orden era «arqueología» pero ni siquiera sabía pronunciar esta palabra (*archaeology*, en inglés, ciertamente difícil de saber cómo se pronuncia). La segunda carrera era «astronomía». Shapley trabajó en la Universidad de Princeton bajo la supervisión de Henry N. Russell sobre estrellas binarias eclipsantes, tema con el que leyó su doctorado en 1914, año en el que se incorporó al observatorio de Mount Wilson. Fue por entonces cuando conoció a Hubble y desde el primer momento se enemistaron. Shapley era, como Hubble, natural de Missouri. ¿Qué ridículo acento británico fingía Hubble? ¿Qué ridículas vestimentas paramilitares vestía para observar con el telescopio? Shapley era también de trato muy difícil, por lo que el encontronazo fue inmediato.

Universo monogaláctico

Shapley proponía que el universo era solo la Vía Láctea, que no había universos islas, es decir, que no había otras galaxias, si bien es cierto que él había demostrado que la Vía Láctea era mucho mayor de lo que anteriormente se creía. Con la distribución de los cúmulos globulares dedujo que el Sol no estaba en el centro de la Vía Láctea y determinó muy bien su posición. Lo que perdió a Shapley en su enfrentamiento con Hubble fue su insistencia en el modelo de universo monogaláctico. Si hubiera sido más objetivo, como lo fue Hubble, y esperado a que sus propios datos decidieran el modelo de universo, y si no se hubiera ido de Mount Wilson en un momento tan decisivo, es muy probable que su nombre estuviera hoy sustituyendo al de Hubble. Shapley y Hubble se odia-

neutral, no tenía que disimular el número real de muertos, que era dantesco. Curiosamente, la epidemia se cebaba en los jóvenes, dejando sanos a niños y viejos. La gripe española mataba más que la guerra. La muerte desolaba los campos y las ciudades. También diezmaba a los ejércitos, aunque Hubble salió indemne.

Luego desembarcaron en Burdeos. Los alemanes estaban ya en retirada y Hubble tendría que volver a Estados Unidos sin cumplir su ansiada misión de entrar en combate. Sin embargo, según él contó, por fin pudo lograr su glorioso deseo. Cerca de Metz, cuando el ejército alemán estaba en retirada, el estallido próximo

ban pero, paradójicamente, se respetaban como científicos. Ambos, al publicar los resultados, tenían en mente la pregunta de qué es lo que diría el otro. Tan enemigos como eran, se vigilaban y se tenían bien en cuenta en un duelo científico de los que terminan por ser fructíferos para la ciencia. La rivalidad también inspira. Fue pronto director del Harvard College Observatory hasta su muerte en 1972. Su mujer, Martha Beltz Shapley, probablemente compartió con él sus descubrimientos y es posible que una buena parte del mérito de Shapley le corresponda a ella, sin que se haya podido establecer su grado de contribución. Shapley fue además un mirmecólogo, es decir, especialista en el comportamiento de las hormigas. Así, por ejemplo, quiso publicar en los anales del observatorio de Mount Wilson su descubrimiento de que la velocidad de desplazamiento de las hormigas tiene una relación muy clara con la temperatura y, por tanto, con la hora del día. Pero este tipo de investigación no era propia de un observatorio astronómico y se lo denegaron.



Harlow Shapley, el colega, gran astrónomo y gran enemigo de Hubble.

de una granada le derribó y perdió el conocimiento. Cuando despertó en un hospital de campaña tenía algunas heridas, especialmente en un codo, que nunca en su vida pudo enderezar por completo. Al despertar, nadie le atendía y se fue del hospital sin decir nada. Es muy probable que esta herida de guerra fuera fruto de su imaginación o para impresionar a su esposa y a sus amigos, pues cuando su división llegó a Francia ya se había firmado el armisticio y probablemente los alemanes ya se habían retirado. Por su participación en la Primera Guerra Mundial le fue concedido un cheurón, una especie de escudo a coser en la manga, sobre

fondo de gules, un ángulo gualdo con el vértice hacia arriba, que se otorgaba a los heridos de guerra. Y conservó el grado de mayor. Ya sería para siempre el «mayor Hubble».

La guerra había terminado. Hubo una borrachera general, en ocasión bien comprensible, de la que Hubble no se escapó a pesar de la promesa hecha a su padre de no probar alcohol. Fue la primera borrachera, quizá la segunda si tenemos en cuenta la de Jerez, ocasión también bien comprensible. Al día siguiente, la resaca le impedía recordar absolutamente nada. Preguntó a sus compañeros qué había pasado y le respondieron que él había estado brillante, con un prolongado y encendido discurso. Su reacción fue: «Me hubiera gustado oírlo».

> «Por favor, venga tan pronto como sea posible, ya que esperamos que el telescopio de 100 pulgadas esté en fase de comisión muy pronto, y habrá abundantes oportunidades de trabajar cuando llegue.»
>
> — Requerimiento de Hale a Hubble en vista de su retraso en la incorporación al observatorio de Mount Wilson.

Tras el armisticio, los voluntarios volvieron a Estados Unidos; pero Hubble, no. Aprovechó su estancia en Europa para visitar de nuevo su querida Inglaterra. ¿Cómo era posible si tenía la promesa del director George Ellery Hale de un puesto en el gran observatorio de Mount Wilson? Su parsimonia resultaba asombrosa.

Hubble fue a Cambridge, donde tuvo la magnífica ocasión de ver los papeles originales de Isaac Newton en el Trinity College, no solo de su venerable libro de los *Principia*, sino incluso de sus listas de compras diarias con tachaduras en una diminuta libreta. Y pudo recostarse en un manzano que, según la tradición, era descendiente de aquel que inmortalizara Newton. Además, como se ha dicho, pudo asistir a las clases de Arthur Eddington sobre astronomía esférica, tomar orgullosamente su puesto en la High Table así como respirar el aire limpio de los *colleges* y volver a asombrarse de las extravagantes tradiciones camberitanas, que,

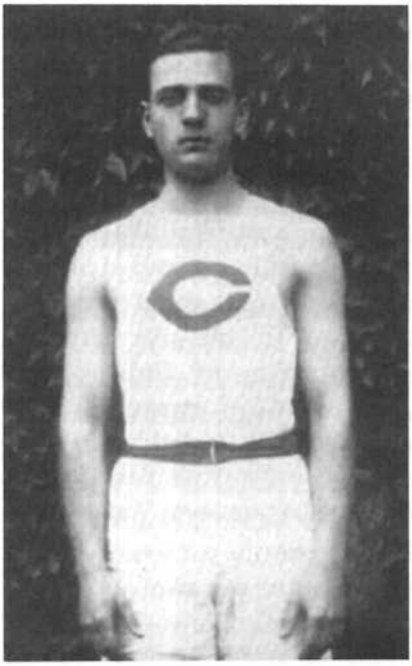






FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Hubble con traje de atletismo en 1906, cuando estudiaba en la escuela de Wheaton.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
Arthur Eddington, el astrónomo del que Hubble recibió clases de astronomía esférica y con el que acabó entablando una duradera amistad.

FOTO INFERIOR:
Hubble (segunda fila, segundo por la izquierda) con un grupo de amigos en 1914, en la época en que estaba preparando su tesis doctoral.

paradójicamente, había llevado a las más brillantes páginas de la ciencia de todos los tiempos.

Pero Hale estaba más que impaciente con la tardanza de Hubble. Había rechazado ya varias peticiones de astrónomos prometedores para cumplir con la palabra dada a un Hubble que se retrasaba indefinidamente.

Antes de su incorporación, hizo una visita al observatorio de Lick, donde se presentó, vestido de militar, como el «mayor Hubble». Desde entonces, los de Lick, con cierta sorna contenida, siempre se referían a él como el «mayor Hubble». En su cartera de trabajo diario estaba escrito: «Mayor Edwin P. Hubble, 343rd Inf.». Y así, vestido de militar, se presentó el «mayor Hubble» en su futuro y definitivo destino, Mount Wilson, hablando en su adoptado acento preciosista, que debió de producir cierta irónica sonrisa disimilada en sus colegas, especialmente en Shapley, que había nacido, como él, en Missouri.

LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL

Como es de suponer, al estallar la Segunda Guerra Mundial, el mayor Hubble estaba dispuesto al combate. Tenía entonces cincuenta y un años y era ya un científico consagrado. Aunque la guerra era mundial, con numerosas naciones involucradas, y había que luchar en defensa de Europa frente a la Alemania hitleriana, el ánimo guerrero del mayor Hubble se centraba en la defensa de su querida Inglaterra.

Empezó interviniendo en programas de radio, enfrentándose a los que defendían la posición contraria, la de que Estados Unidos se mantuviera al margen de la contienda, en especial frente al American First Committee, claramente antibritánico. Y participaba en ligas a favor de la guerra, en las que militaba también Robert Millikan, el premio Nobel de Chicago. Hubble pronunciaba vehementes discursos a favor, no de Europa, sino de Inglaterra. Cuando el presentador en uno de sus discursos le anunció destacando su decidida opción probritánica, él añadió: «Naturalmente, estoy a favor de la civilización».

Tanta actividad y tanta pasión le crearon enemigos y continuamente recibía en su casa anónimos mensajes amenazadores, pero la actitud de Hubble y de Grace no varió un ápice. Esta valentía de Hubble no se quedó en palabras. El ejército estadounidense estaba buscando la colaboración de los científicos. Concretamente, se le pidió que fuera a incorporarse al Aberdeen Probing Grounds de Maryland, donde había un departamento de Balística Exterior, bien como civil, bien como militar, en este caso con el grado de teniente coronel. Sin embargo, nunca se le otorgaron las estrellas de este deseado grado militar. Según confesó él mismo, no tratándose ni de chiste ni de chisme, lo primero que hizo tras recibir la propuesta fue acudir al diccionario y buscar la palabra «balística».

Primero entró como científico consultor, pero pronto se convirtió en jefe de Balística Exterior. Le ofrecieron un buen salario, sustancialmente mejor que el que estaba recibiendo en Mount Wilson. Su labor fue, al parecer, eficaz, concienzuda y perfecta. Tanto es así que todas las armas que Estados Unidos utilizó en la guerra habían sido estudiadas y probadas en su departamento: detección de submarinos, tablas de disparo de tanques, cañones, bazocas, cohetes, bombas y armas de todo tipo se estudiaban y analizaban allí. Estaba al mando de un departamento en el que no solo había militares sino, además, matemáticos, expertos en computación, físicos, químicos, etc., todos ellos voluntarios como él. El mayor Hubble volvía a estar en su ambiente.

> «Aquí y allí, Inglaterra nos ayudó, ¿cómo podemos ahora ayudar a Inglaterra?»
>
> — Manifestación de Hubble en el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, con el tinte anglófilo que le caracterizaba.

Pronto el Aberdeen Probing Grounds se desplazó a la isla de Spesutie, más resguardada, al tener que tratar con material e informes de alto secreto. En el centro de Spesutie existía una casa abandonada, construida en el siglo XIX, como lugar de ocio y caza del antiguo propietario de la isla. Edwin no podía vivir sin Grace y Grace no podía vivir sin Edwin, así que este consiguió los per-

misos para arreglar la casa y habitarla. A pesar de las mejoras, la casa no pasaba de ser una choza grande, pero fue la nueva vivienda de los Hubble. Muy lejos de su mansión lujosa habitual, esta nueva vivienda provisional les hizo pasar los momentos más románticos de su vida en común. Había pocas comodidades, una comunidad de ratones y las explosiones de las bombas y cohetes que estaban probando en la isla la hacían temblar, rompiendo con frecuencia los cristales y, en cierta ocasión, arrancando de cuajo la puerta principal de las bisagras y quicio. Pero la separación que habían tenido que soportar antes de la incorporación de Edwin a Aberdeen hizo de las dificultades mayor fuente de armonía.

La casa se llamaba la «casa encantada», pues había rumores y leyendas de apariciones. Tras un viaje a Washington, la casa se quemó. Se ordenó a los soldados que la repararan y lo hicieron tan rápido y tan bien que Grace lamentaba que no se hubiera quemado antes. Pero la guerra terminó y tuvieron que volver a su vida habitual, en su gran mansión y con el trabajo en Mount Wilson, dejando con lágrimas aquella choza encantada donde vivieron momentos amorosos. La vida en la casa encantada había sido dura pero «encantadora». Tan dura pudo haber sido que, tras la guerra, los militares la demolieron pensando que en aquella edificación nadie sería capaz de vivir.

El espíritu militar era innato en Hubble. Sin embargo, nunca quiso participar en el Proyecto Manhattan, a pesar de que fue presionado para ello. Y es digno de elogio que tras el lanzamiento de la bomba atómica en Hiroshima, tuviera una actuación pública explícita en contra de la carrera atómica para usos militares. Para evitarla, debería crearse un gobierno supranacional y una fuerza policial poderosa. De otra forma, la civilización podría autodestruirse, quizá volviendo a la era paleolítica. Einstein expresó ideas semejantes cuando le preguntaron cómo sería la Tercera Guerra Mundial, a lo que contestó que no lo sabía, pero que sí sabía cómo sería la cuarta: con piedras y palos.

Por su actividad como civil, dirigiendo el laboratorio de balística, se le concedió la medalla al mérito civil, medalla que tanto enorgullecía a Hubble que la incorporaba a su traje en toda manifestación social.

LOS AMORES DE HUBBLE

Deberíamos hablar en singular, porque, que se sepa, Hubble solo tuvo un amor, el de su esposa Grace. Antes de ella, fue notorio su escaso interés por el sexo contrario, si se exceptúa su enamoramiento en su juventud por una tal Elizabeth, una encantadora chica (según palabras de su hermana Helen) que no sobrepasó las exigencias mínimas impuestas por las tías de Edwin. Ese enamoramiento fue muy breve, durante unas vacaciones de verano en Springfield, cerca del rancho Hubble. Salvo esta desconocida Elizabeth, Grace Leib fue su único amor, sin ningún conocido atisbo extraconyugal, con la que se entendió perfectamente toda la vida, con quien compartió ilusiones e ideas, incluyendo su anglofilia y su concepto de las virtudes castrenses.

La arrogancia y el acento inglés que disgustaba frecuentemente a sus colegas parecía, sin embargo, encantar a las mujeres. En cierta ocasión, Hubble estaba inspeccionando una placa al trasluz, cuando aparecieron un hombre y dos mujeres en el laboratorio. El hombre era un astrónomo de Lick, que iba a colocar un espectrógrafo ultravioleta en el telescopio de 100 pulgadas. Una de las mujeres se llamaba Grace y la otra, Elna, era su cuñada y estaba casada con el astrónomo. Grace, a pesar de estar casada, sintió un auténtico flechazo:

> No debería haberme parecido inusual ver a un astrónomo examinando una placa al trasluz. Pero si el astrónomo que examinaba la placa parecía del Olimpo, alto, fuerte y hermoso, con los hombros de Hermes [...] y con una benigna serenidad, eso sí que era inusual.

Esta joven, Grace Leib, era hija de un rico banquero de Los Ángeles y estaba casada con un tal Earl Warren Russell Leib, geólogo y minero, hijo de un juez, de una de las «mejores familias» de la región de Los Ángeles. Su hermana estaba casada con el astrónomo William Wright de Lick, al que llamaban el Capitán. Grace Leib se convertiría posteriormente en Grace Hubble.

Para dar una idea de la vida de lujo con que se había criado Grace, baste decir que cuando su madre iba con ella y con su

hermana de compras, un chófer las llevaba en uno de los dos Cadillac de la familia. Era soñadora y, afortunadamente para los biógrafos de Hubble, escribía un diario que, en muy buena parte, se conserva. En él, describía con detalle, a veces de forma en exceso literaria, a las personas que iba conociendo. Así se explica tan romántica descripción de su futuro marido el gran y grande astrónomo. Lamentablemente, ella misma fue su propia censora y nos privó de conocer los más íntimos y cruciales momentos de la vida personal de Hubble.

LUNA DE MIEL

Antes de tomar el barco, en plena luna de miel, Edwin y Grace pasaron a visitar a un antiguo compañero astrónomo en Mount Wilson, el doctor Harlow Shapley, que ahora estaba en Harvard. Esta visita fue realmente muy extraña, porque Hubble y Shapley eran, como ya se ha dicho, enemigos declarados. El interés de Hubble en esta visita fue demostrar a su antipático colega que tenía las pruebas de que se había equivocado con el modelo del universo que había defendido toda su vida. Cruel y extraña visita en un viaje de novios.

Un largo periplo

Se embarcaron en marzo de 1924: Liverpool, Londres, la abadía de Westminster —donde visitaron la tumba de Newton—, Oxford... En Oxford, es de suponer que Edwin enseñó a su esposa todos los rincones que recordaba de su estancia de becario. Se instalaron en una antigua romántica posada. Allí invitaron a Herbert Turner, profesor de Astronomía, con quien Edwin siempre mantuvo una buena relación. Turner se encargó de difundir su obtención de la distancia a M31, la gran «nebulosa» de Andrómeda, de tal forma que los científicos de Oxford recibieron con admiración y simpatía al joven matrimonio. Después vino Cambridge. Fueron invitados como huéspedes de honor de la Royal Astronomical Society, donde se brindó por él y por la señora Hubble. La Royal Astronomical Society merece una gran admiración por el gran impulso que ha dado a la astronomía desde su formación hasta hoy. Basta con pensar en la lista de sus presidentes, entre los que se encuentran nombres tan ilustres en la historia de la astronomía como William Herschel —el primer presidente—, Cowling, Darwin (nieto), Eddington, Fowler, Hoyle, Jeans, Longair, Lynden Bell, Milne, Rees, Rowan Robinson, Spencer Jones, etc. Grace vivía en un sueño, adoraba Inglaterra y todo lo inglés le parecía fantástico. Pronto se hizo tan anglófila como su admirado marido. Se desenvolvía muy bien en

Grace se casó con Leib en 1912 y su vida siguió siendo la de una ricachona jovencita. Pero el marido murió por un accidente en una mina, en 1921, un año después de aquel encuentro primero entre la joven y el astrónomo olímpico que estudiaba la placa. En 1922, Edwin y ella ya eran novios y dos años más tarde se casaron. Grace estuvo siempre enamorada de su marido y él, menos comunicativo en este aspecto, es de suponer que también, a juzgar por la relación armoniosa que siempre mantuvieron. Hubble entonces pasó a ser, además de guapo, rico. Después de una pequeña luna

todo tipo de invitaciones y agasajos debido a la esmerada y opulenta educación que había recibido. Después París, Basilea, Lucerna, y, al fin, Florencia. En el Palazzo Vecchio observaron una habitación que gustó tanto a Grace que se prometieron que su próxima casa tendría una igual. Y efectivamente así ocurrió. En su casa definitiva hicieron una copia exacta de esa habitación. Visitaron la tumba de Galileo y fueron hasta Arcetri, donde el sabio italiano vivió encarcelado en su propia casa los últimos años de su vida. Oxford otra vez, Liverpool, Montreal... Llegaron finalmente a California en mayo, después de casi tres meses de luna de miel.



Entrada de la Royal Astronomical Society de Londres. Hubble y su esposa Grace fueron invitados de honor de esta sociedad durante su luna de miel.

de miel en una de las mansiones del padre de Grace, decidieron pasar otra segunda más larga en Europa.

Los Hubble empezaron viviendo, a la vuelta del viaje de novios, en un pequeño pero hermoso apartamento. En él invitaban a cenar a cualquier astrónomo inglés que pasara por allí. Entre los más distinguidos estuvieron Arthur Eddington, a quien ya habían invitado en Cambridge, y especialmente, a James Hopwood Jeans (1877-1946), quien siempre tuvo una relación cordial con los Hubble.

Pero ya en 1926 se construyeron su propia vivienda, en Woodstock Road. Se trataba de una casa espaciosa y de ensueño, en pleno bosque, con magníficas vistas, con un diseño de tipo renacentista en la que, en efecto, construyeron una habitación tal como habían visto en el Palazzo Vecchio de Florencia. Era obra de un arquitecto de fama, Joseph Kuchera, especializado en la reproducción del antiguo estilo español. Edwin tenía un soberbio despacho en el que leía, estudiaba, escribía, etc., pero nunca se llevó una sola placa fotográfica a casa, ni una sola cámara. Servía en la casa como mayordomo Alexander Ota, de nacionalidad japonesa y estadounidense, siempre impecablemente vestido, siempre absolutamente correcto. Y es que, por entonces, Hubble ya no tenía ningún límite económico. Su suegro les regaló todo el mobiliario, Grace tenía también sus propios bienes y el sueldo de Hubble se había triplicado al pasar de astrónomo asistente a astrónomo. En aquel tiempo recibía 4300 dólares al año, aunque esta cifra es de difícil comparación en la actualidad.

Por la finca pasaba una microfalla que unos geólogos denominaron la «falla de Hubble-Huntington». Hubble se enorgullecía de ello ante sus invitados y les contaba los pormenores de índole geofísica. También tenían un roble centenario con marcas en su tronco que, al parecer, le habían hecho los soldados españoles hacía más de doscientos años.

Edwin y Grace tenían unos treinta y siete años cuando inauguraron su mansión. No tuvieron hijos ni antes ni después. Solamente, Grace tuvo un aborto cuando Edwin estaba en la montaña observando. Pero Grace prohibió a todos que se lo comunicaran a su esposo para no interrumpir su trabajo, que ella consideraba

más que sagrado. Según su vecina y más próxima amiga, Ida Crotty, Grace no era ni muy bonita ni muy fea.

También decía Ida Crotty que Grace «era mujer de un hombre», pero quizás esta frase no le hacía justicia, pues Grace tenía una fuerte personalidad y su encanto natural debió de tener un papel importante en el éxito de Hubble. La intensa actividad social de Hubble en su etapa tardía, que reforzó ampliamente su estimación popular como científico, y en la que Grace era compañera indispensable, estaba dirigida y controlada en buena parte por ella.

> «Era atractiva físicamente pero aún más llamativa intelectualmente. Muchos de los periodistas estaban más interesados en la conversación con Grace que con el propio Edwin.»
>
> — Palabras de Ida Crotty referidas a Grace Hubble.

Un hecho que nos acerca para conocer la personalidad de Grace es que nunca hablaba de su primer matrimonio. Ida Crotty sabía que había estado casada anteriormente solo porque alguien se lo había contado en secreto. Parecía querer ocultar algunos momentos de su vida pasada tanto como los de su marido. No se entiende hoy esa actitud porque ni uno ni otro tuvieron un pasado inconfesable, quizá el de él envuelto en ensoñaciones inexistentes.

Las extensas vacaciones de los Hubble eran, o bien de tipo cultural, en Inglaterra y Europa, o bien en contacto íntimo con la naturaleza, en Río Blanco en Colorado, donde había unas cabañas y Edwin practicaba su deporte favorito en la madurez: la pesca.

Grace era una persona sensible. Escribía su diario con imaginación, quizá en ocasiones un tanto alambicada, aunque siempre con intención literaria. Un dato importante a favor de su habilidad como potencial escritora es que era ella quien revisaba los manuscritos de su amigo, el afamado escritor británico Aldous Huxley (1894-1963). Cuando Grace tuvo que marcharse con su marido por

causa de la Segunda Guerra Mundial, Huxley se desesperó al no encontrar un corrector de su gusto, a pesar de que les ofreciera un buen precio por su labor. Ella echaba de menos esa labor durante la guerra, por lo que corregía voluntariamente los informes de los subordinados de su marido, opinando que, si bien en la exactitud de las fórmulas matemáticas no podía meterse, el texto era horrible en cuanto a elegancia y buen gusto. El caso es que lo que corregía eran informes secretos, pero nadie veía inconveniente, pues bien se sabía que ella no entendía bien el contenido de los informes. Si el mayor Hubble lo veía bien, todos lo aceptaban.

En cierta conversación sobre qué era el amor, Grace dijo una hermosa frase: «Amor es intentar quitar la piel de plátano en el pavimento de la vida de otro». Edwin relataba situaciones que solo la crédula Grace podría aceptar como verosímiles. Además de las exageradas peripecias en el campo de batalla en Francia, durante la Primera Guerra Mundial, o su habilidad como abogado a su regreso, le contaba otras más inocentes, probablemente en broma, no dando crédito a la ingenuidad de Grace.

En 1942, se capturó un barco alemán y se le llevó al Proving Grounds, donde Hubble era el jefe de Balística Exterior. Este le dijo a Grace que en el barco se habían encontrado órdenes del mismísimo Hitler, mandando destruir el Proving Grounds y ¡también al doctor Hubble! Y Grace lo anotó en su diario como verídico.

Pero lo más destacable de Grace fue su abnegada admiración por Edwin, su disposición inconmovible para ayudarle en todo momento, su amor sin fisuras, su orgullo de que él enamorara a las jovencitas. En la «casa encantada» escribía en su diario:

> Tener a E. para responder a todas las cuestiones, o estar silenciosos con una completa sensación de camaradería. Mientras hago las labores de la casa, pienso en lo mucho que depende la estructura de la vida de una persona de las pocas personas que han compartido con ella experiencias y pensamientos. E. y yo, tras estos años juntos, recordamos cosas y les damos vida y color. Una palabra, dicha por alguno de los dos, hace que nos miremos y pensemos lo mismo. Sin esto, uno se hace sordo, mudo, ciego, amputado.

LA VIDA SOCIAL

Hubble y su esposa Grace siempre fueron proclives a encuentros, cenas, discusiones, etc., con los amigos y vecinos, pero sus relaciones sociales se intensificaron muchísimo cuando tuvo lugar el encuentro decisivo para la ciencia entre Einstein y Hubble. Comentaremos este encuentro más adelante por su gran interés en la historia de la ciencia. Simplificando ahora, el popularísimo Einstein hizo público que él se había equivocado y que Hubble tenía razón. En ese momento, Hubble se hizo tan popular como Einstein, se le abrieron las puertas de la alta sociedad y los esposos Hubble se prodigaron en los salones y en relaciones con famosos científicos, artistas y políticos. Seleccionaron sus amistades y encuentros con el criterio de que fueran ingleses o, al menos, anglófilos.

Hubble cuidaba mucho su vestimenta, confeccionada por un sastre inglés que se había instalado en Los Ángeles. Según Grace, Edwin poseía una «vanidad ingenua» con su atuendo, apreciándolo satisfactoriamente cuando se ajustaba a su patricia fisonomía. Siempre tuvieron una relación asidua con algunos científicos ingleses, aprovechando los viajes, bien propios, bien ajenos, entre Inglaterra y Estados Unidos. Tuvieron amistad con Fred Hoyle, el teórico locuaz, provocativo, polifacético y artista; con el tímido organista frustrado James Jeans y con el silencioso y enigmático cuáquero Arthur Eddington.

Grace era brillante y más expresiva que Edwin. Era tan anglófila o más que él, adoptando la escritura inglesa en aquellas palabras que se escriben de forma diferente a ambos lados del Atlántico. Su veneración por el modo de vivir británico se extendía a un cierto desprecio por las clases más humildes.

Así, en cierta ocasión, dijo que los mejicanos eran mezcla de indios, españoles y negros, y, por tanto, eran una raza «mongrel», es decir, una raza de mestizos o perros callejeros. Cuando su interlocutor la contradijo, queriendo hacerla ver que, inicialmente, los niños mejicanos eran iguales a los ingleses, que la diferenciación era fruto de la educación, ella repuso que un potro cualquiera y un potro purasangre eran aparentemente iguales, pero del primero

no se podía esperar un caballo de carreras de buena casta. Aunque Edwin y Grace pensaban de forma muy parecida, este pensamiento racista no es atribuible a Edwin.

Grace no demostraba un trato justo con sus congéneres cuando decía que «las mujeres o bien eran satélites o bien parásitas», ni tampoco cuando prohibió que fuera una mujer quien escribiera la biografía de su marido una vez muerto. Sus opiniones sobre los negros tampoco hubieran parecido presentables hoy en día. Sin embargo, es difícil enjuiciar personajes pasados con la mentalidad de nuestros días. Por lo demás, Grace era muy imaginativa, y anotaba en su diario sus impresiones sobre los personajes que iba conociendo. Sus ideas racistas y elitistas eran, en la mayoría de los casos, celebradas por sus invitados o por sus anfitriones.

Entre los personajes científicos que conocieron con cierta intimidad, podríamos destacar al indio Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) y a su mujer, la inolvidable Lalitha. Chandrasekhar sería quien propondría a Hubble para el Nobel, proposición fallida por la muerte de este. Entre los artistas podríamos citar a Frank Capra, el director de cine, a los actores Leslie Howard, Gary Cooper, Helen Hayes y Clark Gable; a Anita Loos, escritora de guiones de cine, por ejemplo el del filme *Los caballeros las prefieren rubias* (1953), Cole Porter, el compositor, así como al entonces controvertido Igor Stravinsky, a los escritores Thomas Mann y Bertolt Brecht. Impresionaron mucho a los Hubble los grandes humoristas Harpo Marx y Charles Chaplin, acompañado este último por su mítica esposa Paulette Goddard, con quienes mantuvieron una amistad más duradera.

El escritor británico Bertrand Russell (1872-1970) fue también invitado en la casa de los Hubble, aunque había sido tachado de hombre «muy malo» por James Jeans. Grace anotó los tres consejos de Russell para conseguir la felicidad: 1) trabajo creativo, o alguna contribución efectiva; 2) libertad de movimientos, lo que implica seguridad económica e independencia y 3) una vida intensa, en términos de igualdad, en cualquier sitio y con cualquiera.

Walt Disney les enseñó personalmente sus talleres, en los que trabajaban 1200 artistas de dibujos animados, quienes llevaban

al celuloide sus geniales ideas. El escritor y filósofo británico H. G. Wells (1866-1946) estuvo también en la mansión de Hubble. Curiosamente, el literato de ciencia-ficción, autor de *La máquina del tiempo* (1895) y *La guerra de los mundos* (1898) se encaró con Edwin diciéndole que lo que él hacía era investigación, pero no ciencia. No cabe duda de que no tenía ninguna razón, pero es cierto que la diferenciación podría hacerse en la época actual para muchos científicos de oficio. No era el caso de Hubble. Él se interesaba por muchos otros temas, no solo científicos, y tenía una vasta biblioteca, que incluía algunos temas en los que profundizó más, tales como los insectos, los fósiles, los libros antiguos y la historia de la ciencia.

> «En el más oscuro horizonte, buscamos señales que son escasamente más significativas que los errores observacionales. La investigación continúa. El deseo es más viejo que la historia. No se ha satisfecho y no será oprimido.»
>
> — Edwin Powell Hubble.

Pero la persona destacada en el mundo cultural con quien los Hubble mantuvieron una amistad más duradera y estable fue con Aldous Huxley, el famoso escritor cuya obra más conocida quizá sea *Un mundo feliz* (1932), y su esposa María. Por lo pronto, Aldous medía 1,98 m, una condición apropiada para convertirse en amigo de Edwin, y compartían muchas ideas, incluso sus puntos de vista sobre las clases desheredadas. Solo eran irreconciliables en una cuestión: Aldous era antibelicista, mientras que el mayor Hubble no entendía por qué Estados Unidos se retrasaba en participar en la Segunda Guerra Mundial. Esta diferente actitud ante la guerra acabaría enfriando esta singular amistad.

Además de otros clubes, ateneos y sociedades culturales, Hubble fue un asiduo miembro de la Huntington Library and Art Gallery, de la cual incluso era miembro de la junta directiva. Aunque por entonces ya había muerto, el multimillonario Henry Edwards Huntington (1850-1927) había creado un lugar paradi-

síaco, con hermosos jardines que recordaban a Versalles en algunos rincones y a jardines japoneses en otros, con hermosos estanques y paseos sinuosos, un lugar inolvidable para el esparcimiento y la discusión sosegada. Además, estaba el singular edificio que albergaba la biblioteca y la galería de arte.

Huntington fue un anglófilo apasionado, había recogido una cantidad muy importante de libros publicados en Inglaterra y legó una serie de documentos históricos de incalculable valor, tales como páginas manuscritas de Shakespeare, una copia de la Biblia de Gutenberg o la autobiografía de Benjamin Franklin de su puño y letra. Más adelante, la biblioteca tendría una joya más en sus vitrinas: los papeles del propio Hubble, recopilados y seleccionados tras su muerte por Grace.

CAPÍTULO 2

La clasificación galáctica y los universos islas

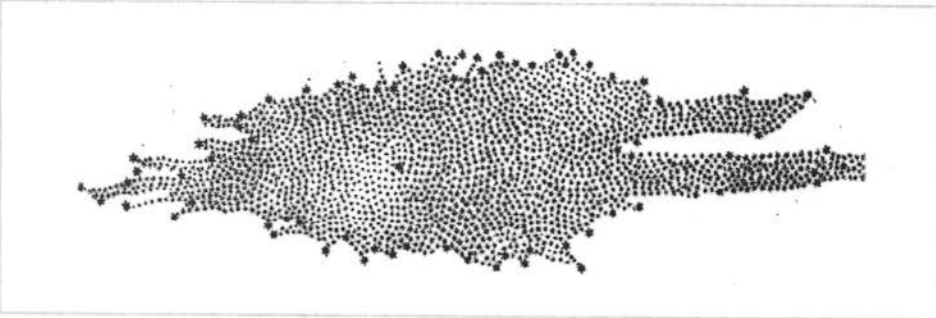
En 1917 Hubble leyó su tesis doctoral y ya en 1929 publicó su famosa ley, y eso que participó en una guerra mundial entre estas dos fechas. En este breve intervalo temporal tuvo que afrontar el reconocimiento de que existían otras galaxias y la determinación de su distancia. Conoció así las grandes dimensiones del universo, como nadie lo había imaginado. En números redondos, el universo de Kepler tenía un tamaño de una hora luz; el de Herschel, mil años luz; el de Hubble, diez mil millones de años luz.

En la ciencia, frecuentemente, los nuevos descubrimientos se producen cuando llega su momento. Muy raramente se adelantan o se atrasan. O bien se han desarrollado nuevos instrumentos más precisos que aportan nuevos datos sobre los que pensar, o bien se desarrollan nuevas teorías que aportan nuevas formas de interpretar los datos.

LOS UNIVERSOS ISLAS

En el caso de la posible existencia de «universos islas» (lo que Hubble llamaba «nébulas extragalácticas» y hoy llamamos «galaxias»), en definitiva, de las dimensiones reales del universo, eso fue precisamente lo que ocurrió. Los descubrimientos se produjeron cuando llegó su momento. Se atribuye a Hubble la demostración, y bien merecida es esta atribución, pero es una historia que tiene también otros protagonistas que no se pueden ignorar.

El término de «universos islas», aunque hoy está en desuso y empleamos en su lugar el nombre más apropiado de «galaxias», fue introducido por el viajero erudito alemán Alexander von Humboldt (1769-1859). La idea no era nueva, pues había sido concebida por filósofos sin base observacional, entre los que cabe citar



El universo concebido por W. Herschel. El Sol estaba aproximadamente en el centro.

al inglés Christopher Wren (1632-1723) y el prusiano Immanuel Kant (1724-1804).

El astrónomo alemán William Herschel (1738-1822), con la valiosa ayuda de su hermana Carolina, construyó los mayores telescopios de su época, siendo uno de ellos instalado en Madrid, en el Observatorio Nacional, aunque la ocupación francesa limitó su vida útil a unos pocos años. Herschel llegó a la conclusión de que la Vía Láctea era como un disco, como una «piedra de molino», según su propia expresión, en la que el Sol ocupaba la parte central (véase la figura). No había razón para pensar objetivamente que hubiera otras piedras de molino.

Antes de la incorporación de Hubble al mundo de la astronomía profesional, Harlow Shapley era un defensor de que solo existía la Vía Láctea, mientras que Herber Curtis (1872-1942), del observatorio Lick, lo era de la posición contraria, de que había muchas nébulas fuera de la Vía Láctea, semejantes a ella.

LA VELOCIDAD

Justo antes de la incorporación de Hubble al observatorio Yerkes de la Universidad de Chicago, asistió a la conferencia anual de la Sociedad Astronómica de Norteamérica, lo que fue decisivo en su trabajo futuro. Allí hubo una exposición memorable de Vesto Slipher en la que se presentaban velocidades de alejamiento de

EL EFECTO DOPPLER



Christian Andreas Doppler.

El efecto Doppler es llamado así en reconocimiento al físico austriaco Christian Andreas Doppler (1803-1853) en 1842, en su trabajo sobre el cambio de color en las estrellas binarias. El efecto Doppler tiene lugar para todo tipo de ondas cuando el emisor y el receptor se mueven relativamente uno con respecto al otro. Si el emisor se aleja con respecto a nosotros, la longitud de onda aumenta; si se acerca, disminuye. En el caso del sonido, si el emisor se aleja con respecto a nosotros, el aumento de la longitud de onda hace que percibamos un sonido más grave. Si el emisor se acerca, el sonido se hace más agudo. Cuando un coche se acerca veloz, oímos su ruido muy agudo, y cuando ya nos sobrepasa, oímos su ruido más grave. Como la luz es una onda, también está sometida al efecto Doppler. Su efecto se aprecia muy bien si nos fijamos en cualquiera de sus rayas espectrales, por lo nítido y estrecho de su perfil en longitud de onda. Las rayas espectrales son tan estrechas por ser normalmente la consecuencia de los saltos de niveles discretos de energía de los electrones en el seno de los átomos. Cuando una raya espectral no aparece en su posición en longitud de onda, sino desplazada, podemos sospechar que se debe al efecto Doppler, es decir, a un movimiento de la fuente con respecto a nosotros. Si la longitud de onda aumenta, lo que se conoce usualmente como «desplazamiento al rojo», entonces el emisor se aleja de nosotros. Si la longitud de onda disminuye, lo que usualmente se llama «desplazamiento al azul», entonces el emisor se acerca a nosotros. Además, de la cantidad de desplazamiento se puede deducir la velocidad de acercamiento o alejamiento. Se comprende que este efecto tiene una importancia crucial en astrofísica. Nos permite conocer la velocidad de cualquier astro; en realidad, solo una componente del vector velocidad, la componente en la línea de visión.

unas nébulas, que alcanzaban valores asombrosos, de más de 1 000 km/s. Estas velocidades se obtenían con la interpretación más directa e ingenua de que se debían al efecto Doppler.

CUESTIONES DE NOMENCLATURA

Al empezar el siglo XX, no se sabía distinguir entre los objetos de apariencia extensa (excluyendo los planetas), no estando claro cuáles formaban parte de nuestra galaxia y cuáles constituían otras galaxias. A unas y otras se les daba el nombre de «nébula». Al ponerse de manifiesto la diferencia, Hubble habló de nébulas galácticas y nébulas extragalácticas. Nunca en su vida utilizó la palabra «galaxia», salvo al referirse a la nuestra, sin duda por su enemistad manifiesta con Shapley, quien acertadamente propuso el término «galaxia». Como estamos tratando de la biografía de Hubble y él empleaba la expresión «nébulas extragalácticas» o simplemente «nébulas» (pues las nébulas galácticas pronto dejaron de interesarle), nosotros también emplearemos su terminología, en el bien entendido de que «nébula (extragaláctica)» es sinónimo del término actual «galaxia». La voz «nébula» es algo extraña en castellano, pero hemos preferido conservarla por no corresponder exactamente a la castellana «nebulosa» y por ser su origen claramente latino y no anglosajón. Encontramos disculpable la introducción de un término perteneciente a nuestra lengua madre, el latín. Hoy se emplea «galaxia» para las nébulas extragalácticas y «nebulosa» para las nébulas galácticas. Pero hay una excepción: se sigue hablando de la «nebulosa de Andrómeda», aunque según el criterio aceptado anterior deberíamos decir «galaxia de Andrómeda». Nuestra galaxia es una más entre miles de millones de ellas. La llamamos «nuestra galaxia» o bien «la Vía Láctea». La Vía Láctea (véase la imagen) es en realidad esa franja lechosa que todos reconocemos en el cielo, pero por haberse identificado desde

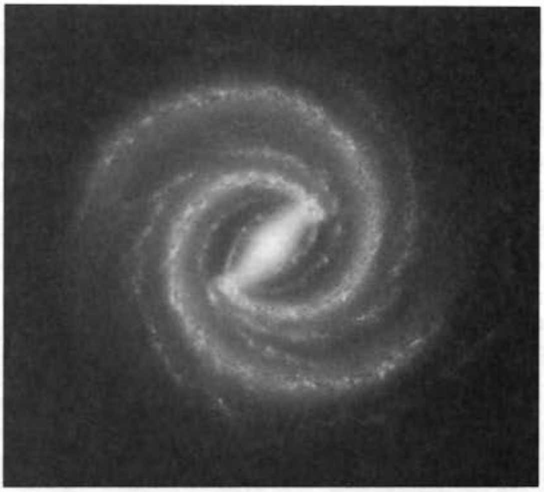
EL DESPLAZAMIENTO AL ROJO, «z»

Supongamos que observamos una raya espectral con longitud de onda λ_0 en el laboratorio, aquí en la Tierra. Cuando la observamos en una estrella o en una galaxia que se mueve (alejándose o acercándose), esta raya está desplazada, tiene una longitud de onda diferente λ, y la fórmula que relaciona ambas longitudes de onda es:

$$\lambda = \lambda_0(1 + v / c),$$

donde v es la velocidad de alejamiento y c la velocidad de la luz. Si v es positiva, $\lambda > \lambda_0$, por lo que la raya, si era amarilla, se ha desplazado hacia el rojo. Si v es negativa, la raya se habrá desplazado hacia el azul. «Enrojecimiento» se utiliza como equivalente a

Galileo con el plano de nuestra galaxia, se generaliza el nombre y se emplea «Vía Láctea» para designar a nuestra galaxia en su conjunto, o, también, la Galaxia, con mayúscula.



Representación artística de la Vía Láctea.

desplazamiento hacia una longitud de onda mayor. Se emplea este término aun cuando estemos más allá del rojo, en el infrarrojo, o en ondas de radio. Igualmente, «azulamiento» debe entenderse como desplazamiento hacia longitudes de onda más cortas, incluso cuando estemos más allá del azul, en el ultravioleta, o en rayos X, o en rayos γ.

En astrofísica se emplea mucho la magnitud z, desplazamiento al rojo (*redshift* en inglés) definida como:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0},$$

es decir, lo que se ha desplazado la raya en términos relativos.

En el caso de que el desplazamiento al rojo se deba al efecto Doppler, se obtiene rápidamente que:

$$z = \frac{v}{c}.$$

Lo que realmente se mide en astrofísica es el desplazamiento al rojo, z. Solamente si el desplazamiento al rojo se interpreta como un efecto Doppler, podemos emplear esta fórmula para determinar la velocidad de alejamiento (si $z > 0$) o de acercamiento (si $z < 0$). La interpretación ingenua es que z sea de origen Doppler, pero más adelante veremos que Hubble no quiso pronunciarse sobre este punto, admitiendo que podía haber otras causas de enrojecimiento. Volveremos sobre este punto al asistir a los acontecimientos históricos.

El caso es que habiéndose detectado rayas espectrales en el Sol, por Joseph von Fraunhofer (1787-1826) en Múnich, se abrió una puerta de decisiva información para la astrofísica. Pronto se pudieron observar rayas de Fraunhofer en las estrellas, con lo cual se pudieron medir velocidades estelares que eran del orden de 20-40 km/s. El siguiente paso era determinar velocidades de las nébulas. Había nébulas que tenían velocidades del orden de magnitud de las velocidades estelares, a las que más tarde se las identificó como pertenecientes a la Vía Láctea. Pero era la hora de medir velocidades de las nébulas con forma de remolino, lo que hoy llamamos «galaxias espirales».

La primera galaxia elegida fue, naturalmente, la de mayor tamaño angular, la visible a simple vista en el hemisferio norte, la gran «nebulosa» de Andrómeda, M31. El resultado obtenido, ya en 1912, fue sorprendente. Andrómeda se estaba acercando a nosotros con una velocidad de unos 300 km/s; nunca se había encontrado ningún objeto astrofísico que se desplazara a una velocidad tan alta. Pero Slipher siguió midiendo en otras galaxias, aproximadamente en unas cuarenta más. El resultado fue aún más sorprendente. No solo se obtenían velocidades mayores, incluso de más de 1 000 km/s, sino que además Andrómeda era una excepción. Todas las demás galaxias se alejaban. Era la primera vez que podía hablarse de expansión del universo.

No tardaron en surgir alabanzas por el descubrimiento de Slipher. El astrónomo danés Ejnar Hertzsprung (1873-1967) —del observatorio de Potsdam, Alemania—, hoy muy conocido por el diagrama HR de la clasificación estelar —donde la «H» hace honor a su apellido y la «R» al de Henry N. Russell—, apreció pronto la importancia del hallazgo. Le parecía que estas grandes velocidades demostraban que las nébulas espirales no podían pertenecer al sistema de la Vía Láctea. Incluso sin conocer las distancias, tales velocidades no se encontraban en las estrellas y no era fácil admitir que estuvieran gravitacionalmente unidas a nuestra nébula. En palabras del propio Hertzsprung:

VESTO SLIPHER



Vesto Slipher midió las altas velocidades de varias galaxias espirales y fue el primero en observar la expansión del universo.

El astrónomo estadounidense Vesto Melvin Slipher (1875-1969) nació en Mulberry, Indiana. Fue contratado por el millonario Percival Lowell en el observatorio de su propiedad en Flagstaff, Arizona, del que Slipher fue director a partir de 1916. Lowell fue uno de los descubridores e investigadores de los «canales de Marte» (canales que nunca existieron). Su interés era el sistema solar y fue uno de los que primero comprendió que el futuro de esta rama de la astronomía estaba en la espectrometría. Aunque su telescopio era de tamaño más bien modesto, adquirió un excelente espectrómetro y encargó a Slipher su utilización. Pensaba Lowell que la galaxia Andrómeda era otro sistema solar en formación, por lo que empezó a medir velocidades de las galaxias aprovechando sus rayas espectrales. Slipher vio que casi todas las nébulas se alejaban y a unas velocidades tan altas como nunca se habían medido en los objetos astronómicos, de más de 1000 km/s. Fue, por tanto, el descubridor de la expansión del universo. Cuando presentó sus resultados, estaba presente un ilusionado joven Hubble, quien entonces definió claramente cuál sería su línea de investigación futura.

«Tienen que constituir islas separadas en el universo, de las que la Vía Láctea no es sino una más de las todavía incontables». La antigua idea de los «universos islas» tenía al fin una comprobación observacional.

También hubo cítricas. Algunos dudaban de la fiabilidad experimental. Por ejemplo, George Richtey, que trabajaba con el gran telescopio de 60 pulgadas (1,52 m) de Mount Wilson, mediante placas fotográficas de galaxias espirales, «dedujo» que no podían tener tanta masa como la Vía Láctea, por lo que desechaba la idea de los universos islas. Pero la idea de Hertzsprung era también compartida por el propio Slipher.

LA TESIS DOCTORAL DE HUBBLE



El gran telescopio Yerkes, el primero utilizado por Hubble en su vida profesional, en una fotografía tomada hacia 1901.

Tras el sensacional descubrimiento de Slipher de que casi todas las nébulas se alejaban a gran velocidad, se encontraba Hubble con un telescopio de tamaño desmesurado, aunque no el mayor. Era un refractor de 40 pulgadas (1,02 m), el gran telescopio de Yerkes (véase la imagen). Había sido donado a la Universidad de Chicago por el millonario Charles Yerkes e instalado en un lugar, junto al lago Geneva, donde solo había unos pueblecitos que aún no tenían electricidad. Hubble sabía que era el momento de estudiar las nébulas y desechó otros trabajos relativos al Sol. El telescopio Yerkes no estaba muy solicitado, pues sus astrónomos habían emigrado al telescopio más grande de 60 pulgadas de Mount Wilson, en California. Entre los que lo habían abandonado se encontraba Walter Adams (1876-1956), quien tendría un papel importante en esta historia. Aun así, cuando también Hubble se incorporó a Mount Wilson, prefirió un telescopio más modesto de

HUBBLE EN MOUNT WILSON

En 1916, Walter Adams era el director asistente de Mount Wilson, junto a Pasadena, California. Además del mítico telescopio de 60 pulgadas (1,52 m), que durante un tiempo fue el mayor del mundo, estaba próxima la primera luz de un telescopio mucho mayor, el de 100 pulgadas (2,54 m). La carrera por los grandes telescopios se había disparado. Cuanto mayor fuera el diámetro del espejo primario, mayor cantidad de luz recibiría, podrían verse nuevas estrellas y nuevas nébulas y, especialmente, podría

solo 24 pulgadas (61 cm) que estaba prácticamente abandonado. Los astrónomos de Yerkes, el director Edwin Frost, Edward Barnard —hoy conocido por ser su apellido el nombre de una estrella muy próxima— y algunos otros, animaron a Hubble a realizar un estudio fotográfico de nébulas. Su primera elección fue NGC 2261. Tomó muchas placas entre 1915 y 1916. Comparó sus placas con las obtenidas ocho años antes por otros astrónomos y se encontró con que la forma de la nébula había cambiado. Si en ese poco tiempo había cambiado, era difícil que estuviera muy lejos. Ello parecía confirmar que frente a las lejanas nébulas espirales de Slipher, había otras que sí estaban cerca, que formaban parte de la Vía Láctea. Hubble publicó este resultado en la revista *The Astrophysical Journal,* de la Universidad de Chicago, hoy una de las más prestigiosas revistas de astrofísica. También observó movimientos propios (es decir, desplazamientos perpendiculares a la línea de visión) en algunas estrellas de la nébula, confirmando su proximidad.

Una tesis que se hizo esperar

El título de su tesis fue «Photographic Investigations of Faint Nebulae». Era una buena tesis que tenía que presentar tanto oralmente como por escrito. La tesis escrita era muy breve —unas quince páginas— y Frost proponía que debía alargarse y corregir ciertos errores. Pero el posible traslado de Hubble a Mount Wilson y la Primera Guerra Mundial impidieron su pronta presentación escrita y hubo que esperar varios años. Por ambos motivos, tenía que adelantarse la fecha de lectura y no había tiempo para presentar la tesis escrita corregida. La presentación oral fue un éxito. En la comisión que juzgaba la tesis se encontraba, además de Frost y Barnard, su primer y único profesor de Astronomía, Moulton. Obtuvo la calificación de *magna cum laude*. Fue un éxito y en estos primeros años en Yerkes, Hubble se ganó el aprecio y la admiración de los astrónomos, lo que le abriría las puertas para sus siguientes pasos.

descomponerse su luz en sus diferentes longitudes de onda, obteniéndose espectros de mayor resolución. Esto era clave para continuar con la incipiente física de las nébulas. Un telescopio de 100 pulgadas era inconcebible pocos años atrás y suponía una técnica muy desarrollada. Las dimensiones de la cúpula misma debían ser colosales.

Al instalarse un nuevo telescopio, de tal tamaño y tales posibilidades, era conveniente aumentar la plantilla e incorporar algún joven astrónomo. El mismo Adams proponía a un estudiante de doctorado, a un tal Hubble. Se lo propuso al director, George Ellery Hale, quien pidió referencias a sus colegas en Chicago. Estas eran muy buenas. La pega era que la adquisición del nuevo astrónomo no gustaría a Frost. Los de Mount Wilson ya habían captado para sí los mejores astrónomos de Yerkes y no era cuestión de arrebatarles uno más, en este caso, un joven tan prometedor. Pero Hale escribió a Frost y tanto este como Barnard pensaron más en el futuro de Hubble que en el suyo propio y le aconsejaron que leyera cuanto antes su tesis y fuera a Mount Wilson. Así estaban las cosas. Hubble recibiría un salario de 1200 dólares anuales pendiente de la lectura de su tesis.

Pero entonces Estados Unidos declaró la guerra a Alemania. Hubble se quería presentar como voluntario en el ejército de su país. Se le ocurrió pedir a Hale que conservara su oferta de trabajo hasta que él regresara. Contra todo pronóstico, Hale le dijo que sí, que se lo conservaba. Probablemente, le atrajo el gesto generoso de Hubble al querer intervenir en un conflicto armado tan lejos de Estados Unidos. Es probable que Hale se diera cuenta de la importancia de la intervención de su país en esa guerra de carácter mundial. Al parecer, las decisiones y acciones de Hubble gustaban a todo el mundo. Y se fue a la guerra, osando postergar el puesto de trabajo con el que había soñado. En mayo de ese mismo año Hubble se alistó como militar y no volvió hasta agosto de 1919. Hale le recomendó que volviera ya de una vez y le aumentó el sueldo prometido. Cuando se incorporase ganaría 1500 dólares anuales.

Tras la Primera Guerra Mundial y después de pasar una temporada en su idealizada Inglaterra, el «mayor Hubble» se incorporó al observatorio de Mount Wilson. Desde los primeros

balbuceos, la investigación astronómica de este observatorio había tenido como principal objetivo los planetas.

En ese momento, en 1920, en Mount Wilson tenían claro que una gran parte del programa de observaciones tenía que centrarse en las nébulas. No quiere decir esto que la investigación de planetas y estrellas estuviera agotada. Muy al contrario, no hacía mucho que el gran astrónomo británico Arthur Eddington pensaba que las estrellas eran de hierro y aún no se conocían los mecanismos de fusión nuclear. Y los planetas siguen también siendo objetivo importante en la investigación actual. Pero sobre las nébulas se desconocía todo. No se sabía qué eran, ni estaban clasificadas, ni se sabía a qué distancia se encontraban, pero se presentía que eran la clave para comprender el universo y sus dimensiones.

¿Pertenecían las nébulas a la Vía Láctea? ¿Eran universos islas? ¿Existían de ambos tipos? Entre los defensores de la primera posibilidad en Mount Wilson había dos destacados partidarios cuando llegó Hubble: Harlow Shapley y Adriaan van Maanen, herederos de una vieja tradición nacida ya en época científica. William Herschel había encontrado, contando estrellas, que el Sol estaba aproximadamente en el centro de la Vía Láctea. De ello no se deducía que no hubiera universos islas (otras galaxias, diríamos hoy), pero les sugería que así era. Más recientemente, el astrónomo neerlandés Jacob Kapteyn había encontrado una imagen similar, aunque obtenida con muchos mejores datos. ¿A qué se debía esta imagen de la Vía Láctea tan diferente de la que hoy poseemos? Hoy sabemos que el Sol no está en el centro, sino a unos 30 000 años luz. No habían tenido en cuenta que había una extinción interestelar que no nos permite ver más allá de unos 3 000 años luz cuando se hacen observaciones en la parte visible del espectro.

Precisamente, Van Maanen había sido alumno de Kapteyn, quien había visitado Mount Wilson, hablado con su director William Hale, y apoyado con vehemencia la entrada de su discípulo en el observatorio. Por su parte, Shapley defendía el modelo de que solo la Vía Láctea era el universo, pero en ella sus dimensiones se habían multiplicado por un factor de una veintena, con respecto a la concepción de Kapteyn.

LA VIDA EN MOUNT WILSON

Mount Wilson fue patrocinado por el empresario multimillonario Andrew Carnegie (1835-1919), y posteriormente por la Institución Carnegie de Washington. Carnegie fue un gran amigo del primer director, William Hale, y confiaba en su ciencia plenamente. Cuando Hubble se incorporó, Hale no frecuentaba ya mucho las instalaciones confiando la dirección real al director asistente, Walter Adams, quien se preocupaba de la gestión más cercana y minuciosa mientras Hale conseguía el dinero para telescopios más y más grandes. Hale había elegido el lugar donde se instalaría el telescopio, en el monte Wilson, situado a 1 742 m sobre el nivel del mar y relativamente cerca de Pasadena, donde se encontraba el edificio base de la institución. En Pasadena tenían los astrónomos su despacho. Es notorio que Hubble, el último en llegar, tenía el único despacho con servicio propio, heredado del propio Hale.

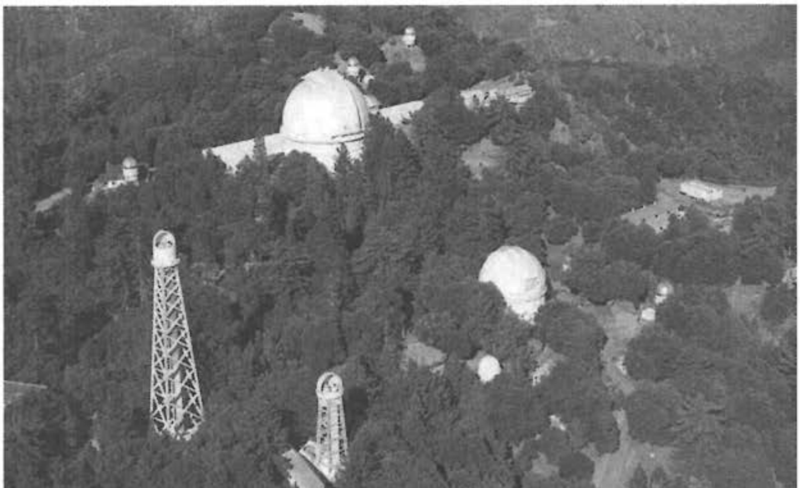
Un observatorio muy particular

El observatorio en la montaña tenía varios edificios además de los de las cúpulas que albergaban los telescopios (véase la imagen). Había un dormitorio con unas quince habitaciones para los astrónomos que observaban, o también para los técnicos, donde también se ubicaba la biblioteca, que entonces era incluso más importante que hoy. Por ejemplo, con algo de exageración, Eddington dijo que se podía hacer astronomía sin telescopio, pero no se podía hacer astronomía sin biblioteca. Este edificio era conocido como el «Monasterio» desde que así lo llamara el propio Hale. Las costumbres eran diferentes con respecto a las de un gran telescopio actual. Las mujeres no podían entrar en los edificios de los telescopios, ni siquiera en el de los astrónomos. Hale decía que perturbarían el trabajo de los investigadores. Tampoco se podía tomar café por ser Hale abstemio y de alguna forma debía concebir que el café era algo asimilable al alcohol. Quizá lo más llamativo desde nuestra perspectiva actual era la cena, que remedaba la *High Table* de Oxford o de Cambridge. Cada uno tenía su servilletero y la colocación de los servilleteros y sus dueños obedecía a un rígido protocolo. La posición central, el sitio de honor, la ocupaba el astrónomo que iba a observar con el 100 pulgadas. A su derecha se sentaba el astrónomo asistente del 100 pulgadas, y a continuación el astrónomo del 60 pulgadas. Así el resto, siguiendo un rígido orden, hasta los más «humildes» trabajadores. A la cena se llamaba con una campana y todos tenían que acudir con traje y corbata. Evidentemente, no era Hubble sino Hale quien había implantando esta ceremonia, pero Hubble debía sentirse como en su querida y añorada Oxford. Cuando ya era viejo, los astrónomos más jóvenes empezaron a revelarse con tan desfasada costumbre. En una ocasión se presentaron a cenar dos astrónomos jóvenes de Oxford en camiseta y vaqueros y fueron regañados por Hubble: «¿Haríais esto en la *High Table*?». Ellos respondieron

sin achantarse: «Esto no es Oxford». Un astrónomo, testigo presencial, contó la siguiente anécdota:

> Cierto día, el tiempo en el gran telescopio estaba asignado a Van Maanen. Su servilletero estaba, en efecto, situado en la posición de privilegio. Hubble llegó un poco antes del toque de campana y disimuladamente cambió el servilletero de Van Maanen por el suyo. Cuando Van Maanen se dispuso a ocupar su puesto se encontró con que allí estaba el de Hubble, le miró con rencor, pero viendo que era un ex boxeador más fuerte que él, se calló prudentemente y se sentó en el lugar del de 60 pulgadas.

Cuando acababan la cena, los astrónomos iban a cambiarse por ropa más cómoda para la observación. Hubble se ponía entonces ropa de camuflaje militar. Hoy, los grandes telescopios son manejados por equipos que han obtenido tiempo de observación otorgado por un comité de expertos. Estos equipos llegan, están unos pocos días y vuelven a su lugar de origen, a reducir y a estudiar las observaciones. En cambio, en aquellos tiempos, en Mount Wilson tenían prioridad los astrónomos propios y en segundo lugar los visitantes.



Vista aérea del observatorio Mount Wilson en 2011. En la cúpula pequeña (derecha) se encuentra el telescopio de 60 pulgadas, y en la grande, el de 100 pulgadas.

Hubble aún no se pronunciaba. Él había investigado su nébula favorita, NGC 2261, que ya había observado en Yerkes, y fue lo primero que observó con el 60 pulgadas de Mount Wilson. Esta nébula le parecía claramente próxima y perteneciente a la Vía Láctea. Prefirió no pronunciarse de manera prematura sobre la cuestión de los universos islas.

LOS COMPAÑEROS DE HUBBLE

Hubble era encantador a primera vista. También lo era con sus superiores, por saber transmitirles su intención arrolladora de comprender el universo. También lo era con las mujeres. Pero era un desastre con sus compañeros de trabajo. Era una persona de trato duro y de carácter distante. Su anglofilia y su militarismo no eran bien entendidos por sus colegas.

La relación de Edwin con el director de Mount Wilson, George Ellery Hale, siempre fue buena, quizá porque se trataron poco personalmente. Ya hemos visto la paciencia que tuvo el gran gestor para esperar a Hubble, no solo a que su participación en la guerra terminara sino, en especial, su tardanza en incorporarse cuando el conflicto bélico terminó.

Pero Walter Adams, que era director asistente cuando Hubble llegó, sucedió a Hale como director cuando este se retiró con todo tipo de enfermedades. Desde el principio, las relaciones no fueron buenas, pero llegaron a una máxima tensión cuando Adams se hartó de los viajes interminables de Hubble a Europa, abandonando durante meses y meses su dedicación al trabajo en el observatorio. ¿Qué hacía Hubble tanto tiempo en Europa, con su esposa, frecuentando los salones de la alta sociedad, participando en sus fiestas y dando una conferencia de vez en cuando, siempre la misma o muy parecida? ¿No podía trabajar un poco más a pie de telescopio? Eran las preguntas y las quejas de Adams en los tiempos en los que ya Hubble gozaba de fama internacional, como el astrónomo que había descubierto cómo era la expansión del universo.

¿Tenía razón Adams? En realidad, estrictamente sí la tenía; Hubble se iba y volvía cuando quería sin dar más explicaciones y sin solicitar permiso. En general, esto hubiera sido inaceptable con cualquier otro trabajador. Pero con Hubble en la cima de su fama, podemos pensar que la actitud de Adams era un poco miope. Era muy importante —no solo para Hubble y para Mount Wilson, sino para el bien de la ciencia— que Hubble se relacionara con los científicos de su tiempo, que participara en los momentos de oro de la astrofísica, de forma muy especial con los teóricos relativistas. Probablemente, Adams debió ser más indulgente con alguien de la talla de Hubble. El caso es que cuando Adams se retiró, a su vez aconsejó insistentemente que su sucesor como director no fuera Hubble, a pesar de que era quien tenía más prestigio. Y lo consiguió: Hubble no fue nunca director de Mount Wilson.

«Hubble era el peor. He sufrido ya un par de sus sermones, arremetiendo contra Shapley de la forma más irrazonable que se pueda imaginar [...]. Tampoco Shapley era un ángel.»

— COMENTARIO DE MARTIN SCHWARZSCHILD, ASTRÓNOMO DE PRINCETON, SOBRE LA RELACIÓN ENTRE HUBBLE Y SHAPLEY.

También las relaciones con el astrónomo sueco Knut Emil Lundmark (1889-1958) fueron malas desde el principio. Su enemistad llegó al escándalo cuando Hubble le acusó de haberle copiado su clasificación galáctica, y lo hizo en términos realmente duros. Lundmark trabajaba entonces también en Mount Wilson. Fue el astrónomo que identificó estrellas individuales en una galaxia (M33) aparte de las de las nubes de Magallanes.

Van Maanen decía haber encontrado movimientos de rotación en el centro de las galaxias. Hubble no lo creía y pidió a Adams que le enseñara las placas de Van Maanen. La controversia planteada por Hubble en términos extremadamente agrios trascendió y, cuando se quiso sacar una nota conciliadora publicada por Mount Wilson, donde se dejaba bien claro que la rotación de las nébulas era más que dudosa, Hubble se irritó sobremanera. Aunque tuviera razón, Adams llegó a escribir a la institución Carnegie, protestando porque no encontraba de ningún modo justificada la actitud de Hubble.

TERTULIAS



El astrónomo neerlandés Jacob Kapteyn fotografiado en 1908 en el «Monasterio» de Mount Wilson (la residencia destinada a los astrónomos visitantes). Kapteyn era uno de los habituales en las tertulias del Athenaeum.

Aunque el trato con los colegas más inmediatos en Mount Wilson fue difícil, Hubble era brillante y amante de las discusiones. En su propia mansión de Woodstock Road organizaba tertulias con frecuencia, encargándose Grace de los aperitivos, que eran servidos por el perfecto mayordomo Alexander Ota. Los tertulianos eran desde luego personas elegidas. Unos eran de Caltech y otros de Mount Wilson. Los de Caltech solían ser Howard Robertson, Richard Tolman y Fritz Zwicky. Los de Mount Wilson, Milton Humason, Walter Baade y Rudolph Minkowski, este último en fecha más tardía. Todos estos nombres son bien conocidos y admirados por los físicos. Los Hubble también eran aficionados al Athenaeum (club social privado en el campus del Instituto Tecnológico de California), donde se reunían no solo científicos sino también filósofos y artistas. La composición del grupo al que Hubble era asiduo era variable y frecuentemente se invitaba a visitantes extranjeros. Pasaron por este grupo astrónomos tan ilustres como Kapteyn (en la imagen), Russell, Turner, Lundmark, Oort, etc. Como se puede apreciar, el ambiente científico en Pasadena era admirable, correspondiente a los grandes descubrimientos que en aquellos tiempos se hicieron allí. En este ambiente, Hubble se desenvolvía muy bien y era un hombre clave en las discusiones.

Pero probablemente el distanciamiento frío y el desdén mutuo más inaguantable, y la mayor disparidad en formas de concebir el universo, tuvo lugar con su mayor enemigo, Harlow Shapley. Hubble y Shapley habían nacido relativamente cerca en el estado de Missouri. Shapley estaba orgulloso de su origen y no comprendía a Hubble, que era como un falso inglés que parecía ir a la guerra en todo momento y que «era capaz de moverse entre las gotas de la lluvia». La enemistad se vio aliviada pronto porque Shapley

abandonó Mount Wilson para hacerse cargo de la dirección del Harvard College Observatory, pero la aversión prosiguió.

Hubble solo fue amable con un astrónomo de Harvard, en este caso una astrónoma, Cecilia Payne, que se presentó a Hubble consultándole sobre una diferencia científica con Shapley. Decía Hubble que Cecilia era el mejor hombre de Harvard.

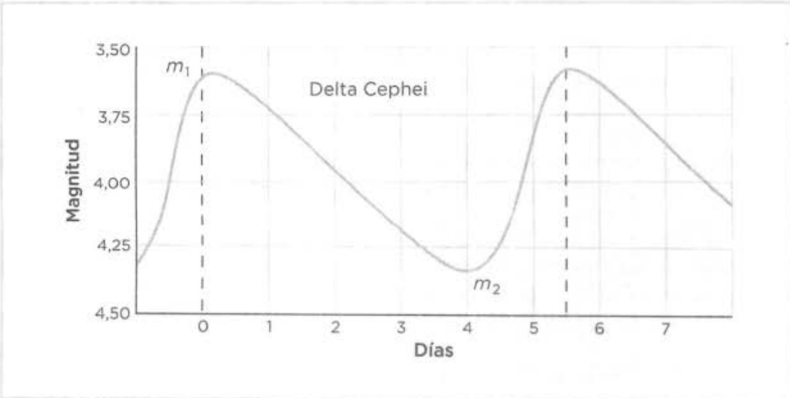
El biógrafo de Hubble, G.E. Christianson, cuenta una graciosa anécdota. Hubo quien le comparó por su arrogancia con el físico estadounidense H.A. Rowland (1848-1901). Como ejemplo del ego soberbio de este científico, en un juicio el abogado le preguntó: «Y bien, profesor Rowland, ¿quién es el físico más grande del mundo?». A lo que él respondió: «Soy yo, supongo». Y cuando después alguien le echó en cara su falta de modestia, él se disculpó: «Es que estaba bajo juramento».

Hubo una reunión entre los astrónomos de Mount Wilson organizada por el propio Hubble, en la cual se decidió abordar de manera sistemática las nébulas. Los *light-men* —los hombres de las noches claras con Luna— eran los espectroscopistas, pues la espectroscopia no está tan afectada por la presencia de la Luna; estaban encabezados por el mismo Adams. Los *dark-men* —los hombres que trabajarían en las noches sin Luna— eran los que harían la fotometría fotográfica, pues la fotometría sí está muy afectada por la Luna; estaban encabezados por Shapley. Hubble fue un *dark-man*.

LA DISTANCIA

Solon Bailley (1854-1931), del Harvard College Observatory, estudió las llamadas «cefeidas», estrellas variables con una periodicidad muy regular, entre 1 día y 130 días aproximadamente. Su curva de luz —es decir, cómo varía su flujo luminoso en función del tiempo— es muy característica, por lo que se las reconoce con facilidad. Son muy luminosas y se pueden observar a grandes distancias. Ya se conocían desde el siglo XVIII, pero Bailey se interesó intensamente en ellas en la época que nos ocupa. Unas

Característica curva de luz de las cefeidas, estrellas variables que tan útiles fueron en la medida de las dimensiones del universo.



cefeidas eran muy brillantes y otras menos, pero no se sabía si las más brillantes eran intrínsecamente más brillantes o es que estaban más cerca.

La astrónoma estadounidense Henrietta Leavitt (1868-1921), investigadora asistente en Harvard, hizo un descubrimiento muy importante. Identificó cefeidas en la Nube Menor de Magallanes. Supuso que, al estar aparentemente todas ellas en la misma nébula, estaban a la misma distancia, aproximadamente. Y entonces encontró la famosa relación entre el período y la luminosidad (véase la gráfica). La luminosidad se define como la energía radiante emitida por la estrella por segundo. Cuanto mayor era el período, mayor era la luminosidad de la estrella. La importancia del descubrimiento se debía a que, identificando cefeidas, se podía medir el período y, por tanto, la luminosidad. Sabiendo la luminosidad y el flujo luminoso medido aquí en la Tierra, se podía encontrar la distancia. Por ejemplo, si las cefeidas normales, «las cercanas», tenían una magnitud 5 y las de la Nube de Magallanes una magnitud de 15, se podía saber que la Nube Menor de Magallanes estaba 100 veces más lejos. Pero, ¿cómo saber la distancia de las cefeidas más próximas? Para que el método de las cefeidas funcionara, para que las cefeidas pudieran servir como «candelas estándar», hacía falta una calibración.

No hay cefeidas tan próximas como para que su distancia se pueda calcular por el método de triangulación, pero por entonces

ANTONIO PIGAFETTA

El explorador y geógrafo italiano Antonio Pigafetta (ca. 1480-ca. 1534) participó en la expedición de Magallanes y Elcano del siglo XVI, la primera circunnavegación del planeta, finalizada con éxito. En *Primer viaje alrededor del mundo,* el libro en el que recopiló los datos y vivencias de la expedición, Pigafetta decía:

> No está el Polo Antártico tan estrellado como el Ártico. Vense muchas estrellas menudas agrupadas, que forman dos nebulosas no muy distantes entre sí ni tampoco con demasiado resplandor. En el espacio entre ambas surgen dos estrellas mayores, tampoco de gran brillo y muy quietas.



Retrato del supuesto Antonio Pigafetta. Biblioteca Bertoliana, Vicenza.

En este párrafo se describen las Nubes de Magallanes. ¿Quién iba a decir a Pigafetta que aquellas dos nebulosas serían el escenario del gran hallazgo de Henrietta Leavitt?

había ya varios métodos de medir distancias dentro de la vecindad del sistema solar. Hertzsprung fue el primero en obtener esta calibración. Y, por tanto, fue pionero en obtener la distancia a la Nube Menor de Magallanes. Esta nébula estaba a 30 000 años luz (hoy pensamos que está a unos 200 000 años luz). Nunca nada se había medido a una distancia así. Pero el azar también jugaba su papel y se le antojó que hubiera un lamentable error tipográfico en la publicación. En la revista *Astronomishe Nachrichten,* en lugar de 30 000 se puso 3 000.

Otro destacado astrónomo de Princeton, Henry N. Russell, independientemente, hizo lo mismo, y obtuvo 80 000 años luz. La diferencia entre Hertzsprung y Russell era mucha, lo cual es disculpable tratándose de una fase tan primitiva de la investigación. Lo importante es que la distancia era mayor que lo que nunca se

había obtenido, y lo que lo era aún más: el principio era utilizable para otras nébulas. Había una hipótesis intrínseca en estos cálculos: la luz emitida en la Nube Menor de Magallanes se propagaba hasta nosotros sin ser absorbida por nada en el camino, hipótesis que después se vería como razonable.

Shapley observó en Mount Wilson cefeidas en cúmulos globulares. Hacía la interpretación de las medidas en su casa con su novia, Martha Beltz. Esta mujer pudo haber tenido un papel importante en la cosmología que ha pasado completamente desapercibido, al no poder participar en las observaciones por razón de su sexo, pues, como ya se ha dicho, las mujeres tenían prohibido el acceso a los telescopios de Mount Wilson.

En primer lugar, Shapley comprobó que la relación período-luminosidad de Leawitt también se cumplía en los cúmulos globulares. Perfeccionó la calibración de Hertzsprung y Russell y lo que nos deja atónitos: pensó que los cúmulos globulares tenían una distribución esférica alrededor del centro de la Vía Láctea. Elaboró entonces un nuevo modelo de la Vía Láctea. Esta era mucho más grande de lo que se creía y el Sol no estaba en el centro, sino más bien en la periferia, a 30 000 años luz del centro. El centro se encontraba en la dirección de la constelación de Sagitario. Esta imagen, aún con datos más precisos, es hoy tenida como perfectamente correcta.

Con una Vía Láctea tan grande, la distancia a la Nube Menor de Magallanes no era tanta. Shapley pensó que no había nada más allá de la Vía Láctea, que la Vía Láctea era todo el universo. Las grandes velocidades encontradas por Slipher eran interpretadas por Shapley como resultado de una eyección desde la Vía Láctea, debido a la presión de radiación. No era difícil eyectar una masa gaseosa tenue si las nébulas espirales no estaban formadas por estrellas. Para indicar que la Vía Láctea era todo el universo, Shapley la llamaba la «Gran Galaxia».

Otro argumento en la tesis de Shapley fue la estrella «nova» que había aparecido en M31, que era en realidad una «supernova». Dejando aparte la explicación actual, aquella estrella había brillado tanto como toda M31 entera. Si Andrómeda hubiera estado formada por estrellas, esta nova sería inconcebible, y debería implicar una cantidad inimaginable de energía. Hoy sabemos que esto es

precisamente así, que, en efecto, en una supernova hay una emisión descomunal de energía, pero no cabe duda de que, en su tiempo, el argumento de Shapley era contundente. Andrómeda tenía que ser gaseosa y la nova (S Andromedae) una estrella normal.

Para mayor refuerzo en la brillante teoría de la Gran Galaxia, Van Maanen decía que había observado mòvimientos de rotación en las regiones centrales de espirales tan conocidas como M33, M51, M81 y M101. Si estas nébulas estuvieran muy lejos, fuera de la Vía Láctea, estos movimientos corresponderían a velocidades desorbitadas, muy superiores a la de la luz.

Esta teoría de la Gran Galaxia, hoy desechada, gracias, entre otros, al propio Hubble, era también criticada con acierto por Herber Curtis, quien decía que el espectro de las espirales, con líneas de absorción, era casi igual al de las estrellas de tipo F o G y no se parecía nada a los espectros gaseosos caracterizados por líneas de emisión. La espirales debían estar, por tanto, formadas por estrellas, y no por gas, como apostaba el intransigente Shapley.

> «Las grandes espirales [...] están aparentemente fuera de nuestro sistema estelar.»
>
> — Edwin Powell Hubble.

Curtis había observado muchas nébulas espirales en las que su brillo se cortaba en unas bandas negras. Interpretó acertadamente que se debían a una absorción interestelar. Si otras espirales tenían esa banda de absorción en el plano de simetría, la Vía Láctea también podría tenerla. Si era así, se mataban dos pájaros de un tiro. Esta absorción impedía ver espirales fuera de la Vía Láctea. No es que no hubiera espirales en la dirección del plano de simetría de la Vía Láctea; es que no se veían. Además, explicaba la estruendosa diferencia entre los modelos de Vía Láctea de Herschel y Kapteyn por un lado, y el propio modelo de Shapley por otro. Los primeros decían que el Sol estaba en el centro; el último, que estaba a 30 000 años luz, más bien en la periferia.

Con respecto a la supernova de Andrómeda, Curtis opinaba que, en efecto, debía ser un tipo desconocido de estrella con una emisión luminosa asombrosa que duraba muy poco tiempo.

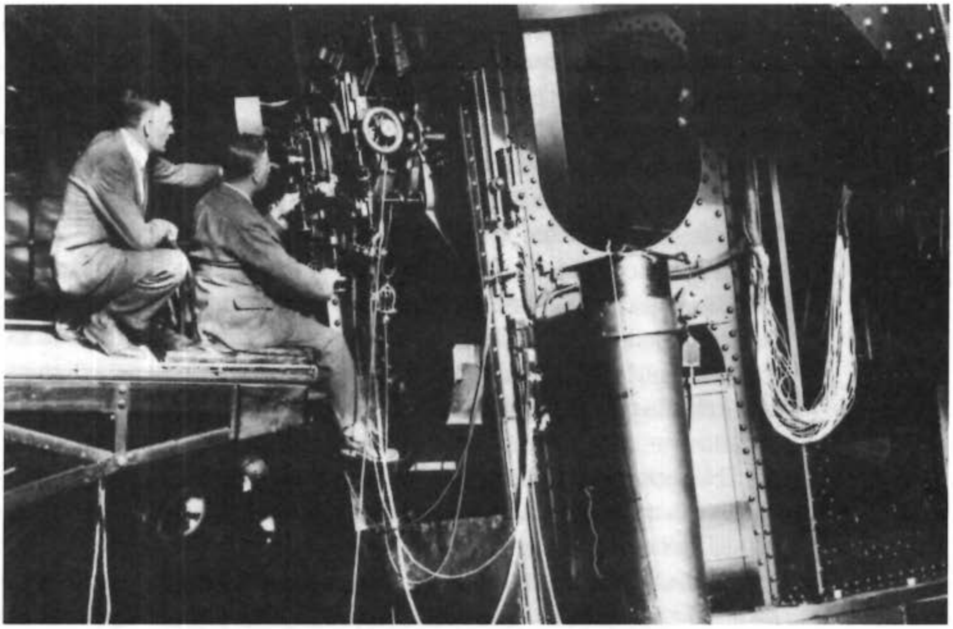
Después de todo, ¿no habían aparecido estrellas de este tipo en tiempos del astrónomo alemán Johannes Kepler (1571-1630) y del danés Tycho Brahe (1546-1601)? Finalmente, Curtis puso en duda la aseveración errónea, aunque honesta, de Van Maanen de que había observado movimiento de rotación en nébulas espirales.

Así que, cuando llegó Hubble a la contienda, las dos teorías, la de la Gran Galaxia que era todo el universo, encabezada por Shapley, y la de que la Vía Láctea era solo una más entre millones y millones de otras distantes y similares, se mantenían en pie. Más bien las ideas de Curtis iban ganando terreno, pero Shapley, polémico y verboso, encabezaba una corriente que se mantenía muy viva. Hoy sabemos que era Curtis quien tenía razón, pero hemos de admirar a Shapley, que fue quien calculó las distancias a los cúmulos globulares, acertó en las dimensiones de la Vía Láctea y puso al Sol fuera del centro, en su verdadero sitio.

¿Qué más observaciones podían hacerse para dirimir entre ambas teorías? El siguiente paso sería encontrar cefeidas en espirales y ver que estaban mucho más lejos que las Nubes de Magallanes. Entonces ocurrieron unos hechos en los que la historia no se puede comprender; en algunas ocasiones, la historia parece esforzarse en parecer ilógica.

Como es sabido, Shapley y Hubble se llevaban muy mal. Tampoco Hale veía con buenos ojos al brillante pero testarudo Shapley. Resultó que a Shapley le ofrecieron un puesto en el observatorio de Harvard que él interpretó que era de director, aunque luego resultó que no era así. Shapley no se encontraba a gusto en Mount Wilson, seguramente quería perder de vista a Hubble y aceptó la oferta de Harvard. Esto ya era raro, porque la solución del gran debate estaba en el telescopio de 100 pulgadas de Mount Wilson.

Hubble no perdonaba a Shapley que se jactara de que no hubiera querido participar como voluntario en la Primera Guerra Mundial, ni tampoco exculpaba sus ideas liberales. Estaba ansioso porque Shapley se fuera de Mount Wilson y él entonces podría hacerse el amo del 100 pulgadas. Pero fue prudente y no lo expresó abiertamente. En 1921, Shapley se fue a Harvard. El puesto de director se lo ofrecieron a Russell, no a él. A él le ofrecieron el puesto de *assistant professor* y astrónomo.





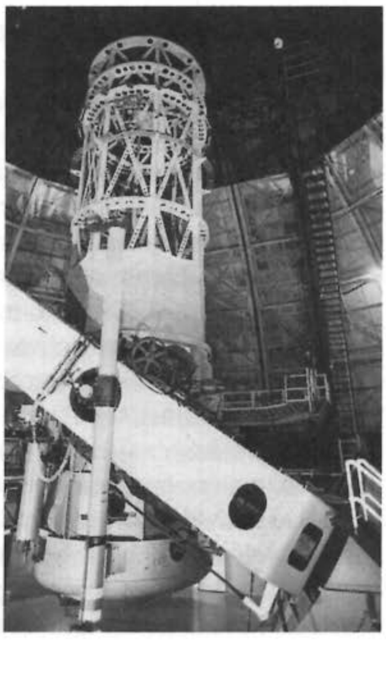


FOTO SUPERIOR:
Edwin Hubble (izquierda) y James Jean usando el telescopio de 100 pulgadas de Mount Wilson.

FOTO INFERIOR IZQUIERDA:
Henrietta Leawitt, descubridora de la relación período-luminosidad de las cefeidas.

FOTO INFERIOR DERECHA:
El telescopio de 100 pulgadas de Mount Wilson, con el que Hubble realizó todos sus descubrimientos importantes.

Pero antes de partir, Shapley ofreció sus placas de M31 a Humason, quien las comparó con otras placas anteriores y... ¡observó cefeidas! Marcó con tinta las posiciones de las hipotéticas cefeidas y corrió a comunicárselo a Shapley. Entonces, cuando pudo, Shapley sacó disimuladamente su pañuelo y borró las marcas que había inscrito Humason. Si había cefeidas en M31, su teoría de una sola galaxia en el universo se venía abajo. Era mejor «borrarlas».

En 1923, Hubble, con el 100 pulgadas, obtuvo una placa de M31 y comparándola con placas anteriores hizo un descubrimiento sensacional: descubrió una cefeida. ¿Era la primera cefeida en una galaxia, aparte de las cefeidas de Leawitt en la Nube Menor de Magallanes? Hubble así lo creyó y así lo anotó. En realidad, este es un episodio que necesitaría mayor estudio histórico, pues Humason vio cefeidas en M31 y así se lo dijo a Shapley, pero este no las quiso ver. Lo lógico es que Humason, que admiraba a Hubble, le informara posteriormente de la extraña conversación. Es muy probable, por tanto, que Hubble ya supiera, o sospechara de manera justificada, que M31 tenía cefeidas. Es más, para descubrir el período de la cefeida, Hubble utilizó placas anteriores, algunas de las cuales eran de Shapley, muy posiblemente las que no se llevó a Harvard.

Puede considerarse que Hubble tuvo cierta mala intención cuando lo primero que hizo —¡con el odio mutuo que se tenían!— fue comunicárselo al propio Shapley: «He encontrado una cefeida en Andrómeda». Es mucho peor, la cefeida servía para calcular la distancia a Andrómeda, y para ello, ¡Hubble utilizó la fórmula que había deducido el propio Shapley! Este no podía decir que el método era malo; era el que él mismo había desarrollado para deducir las distancias a los cúmulos globulares. Andrómeda estaba a un millón de años luz (hoy se piensa que aún más, a 2,5 millones de años luz).

Cuando Shapley leyó la carta de Hubble notificándole la distancia a Andrómeda —nos cuenta Cecilia Payne, que estaba en su despacho— dijo desalentado: «Aquí está la carta que ha destruido mi universo». Seguramente era una carta que él esperaba. Pero lo más recalcitrante fue —como hemos visto— que en pleno viaje de novios, los Hubble pasaron por Harvard, solo para recordarle y remacharle a Shapley que Edwin había encontrado cefeidas.

Hubble descubrió más cefeidas que no hicieron más que comprobar el resultado primero. Las dimensiones del universo concebido crecieron en un factor enorme, imposible de estimar entonces porque de la misma forma que Andrómeda era un conjunto de estrellas similar al de la Vía Láctea (hoy se piensa que el doble) podría haber muchas otras galaxias mucho más alejadas.

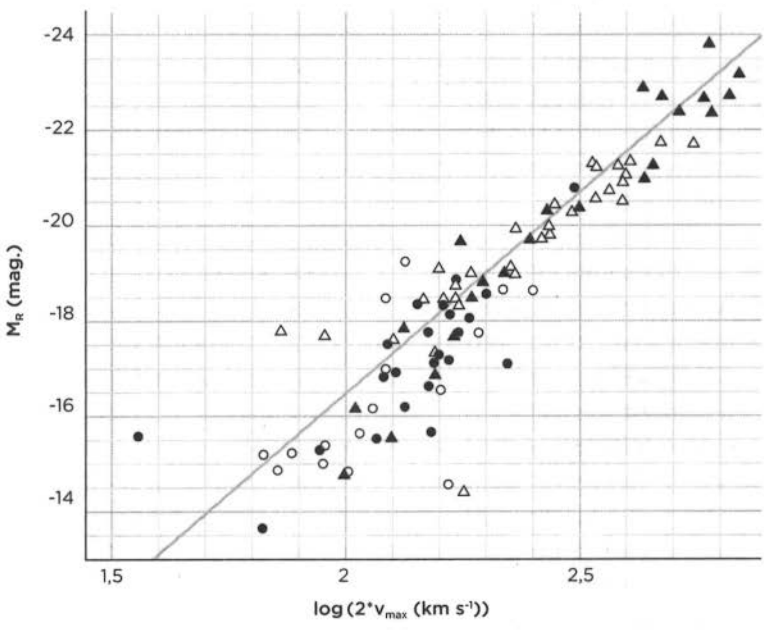
Hoy Shapley es desconocido, salvo para los estudiantes y profesionales de la astronomía. Paradójicamente, un alejadísimo complejo de supercúmulos lleva su nombre. Pero, ¿qué hubiera ocurrido si no hubiera sido tan testarudo? Él aplicó correctamente la calibración que hizo de la ley de Henrietta Leawitt, calculó las distancias a los cúmulos globulares tras identificar cefeidas, supo cómo era nuestra galaxia y dónde nos encontrábamos en ella, observó las cefeidas en sus propias placas, como le enseñó Humason. Si no se hubiera ido a Harvard y alejado del gran telescopio de 100 pulgadas y si no se hubiera empeñado en persistir en su modelo en el que la Vía Láctea era todo el universo, es decir, si hubiera sido simplemente más objetivo y dejado que los datos hablaran, entonces él habría obtenido el resultado que obtuvo Hubble. Él iba por delante de Hubble, pero su ofuscación le cerró el camino de la gloria. Quizá pensó volver a Mount Wilson, pero entonces la dirección pasó de Hale, que tenía todo tipo de enfermedades, a Adams, que odiaba a Shapley tanto como a todos los astrónomos «figuras», como Hubble y Van Maanen.

Las cefeidas constituyeron un método muy preciso, especialmente cuando Baade recalibró la relación entre período y luminosidad, según veremos más adelante. Pero antes del descubrimiento de cefeidas en M31, los astrónomos aplicaban otros métodos menos precisos. Uno era el de las novas. Suponiendo que las estrellas novas eran como las de la Vía Láctea, en 1919 Lundmark estimó que la distancia a Andrómeda era de 550 000 años luz, valor muy bajo, desde luego, pero era ya una estimación cuantitativa. El problema con las novas es que no todas tienen la misma luminosidad.

Desde el punto de vista histórico, hay que decir que Hubble descubrió la primera cefeida en Andrómeda cuando buscaba novas y, de hecho, encontró en la misma observación dos novas y una cefeida.

LA RELACIÓN DE TULLY-FISHER

Esta relación fue encontrada en 1977 por R. Brend Tully (1940) y J. Richard Fisher (1943) y es uno de los métodos actuales más importantes para determinar distancias a galaxias espirales muy lejanas. Quizá se hubiera podido encontrar entonces y hubiera ganado precisión la ley de Hubble. Dice esta relación que la luminosidad de una espiral es proporcional a la velocidad de rotación máxima elevada a un coeficiente de aproximadamente 3,8. La velocidad máxima de rotación puede determinarse directamente en una galaxia desde los tiempos de Slipher si la galaxia no está muy alejada. Si lo está, se puede encontrar debido al ensanchamiento Doppler de la raya espectral de 21 cm. Esta raya se encuentra en el rango centimétrico del espectro. La radioastronomía tuvo su nacimiento en 1930 de la mano del físico estadounidense Karl Guthe Jansky (1905-1950), aunque no se desarrolló hasta pasada la Segunda Guerra Mundial.



Relación de Tully-Fisher. En ordenadas se representa la magnitud absoluta que está relacionada con el logaritmo de la luminosidad absoluta. Tesis doctoral del Dr. Swaters, Rijksuniversiteit Groningen, 1999.

La primera publicación sobre la gran distancia de Andrómeda y, como consecuencia, la constatación de la veracidad de la teoría de los universos islas no fue en una revista especializada, sino en el *New York Times*, en noviembre de 1924. El titular (traducido) decía: «Encuentra que las nébulas espirales son sistemas estelares. El doctor Hubble confirma que hay universos islas similares al nuestro».

LA CLASIFICACIÓN GALÁCTICA

Cuando Hubble hizo su tesis, una nébula era cualquier objeto astronómico que no fuera una estrella puntual o un cuerpo del sistema solar. En ella se decía:

> Se sabe muy poco sobre la naturaleza de las nébulas y todavía no se ha sugerido una clasificación significativa; ni siquiera se ha formulado una definición. Pudiera ser que difieran en tipo y que no formen una secuencia unidireccional de evolución.

Una cosa empezaba a quedar clara: había unas nébulas que parecían estar asociadas a las estrellas de la Vía Láctea, presentaban cierta variabilidad en su forma, tenían velocidades moderadas y, al parecer, estaban contenidas en la Vía Láctea. Y había otras nébulas, entre ellas las nébulas espirales, que por sus grandes velocidades y su ausencia total de movimientos propios (movimientos perpendiculares a la línea de visión), parecían estar fuera del sistema de la Vía Láctea. Esta era la situación cuando Hubble presentó su tesis en 1917. A partir de 1921, se decidió a clasificarlas; no se podía investigar sobre ellas si antes no se hacía una clasificación morfológica.

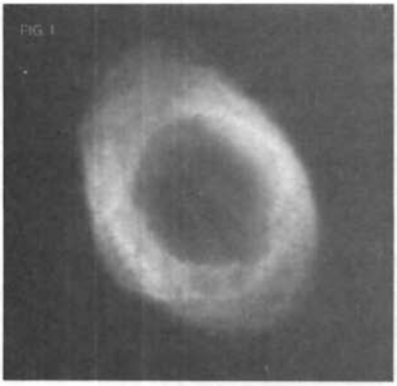
Uno de los expertos en este tema podría haber sido su futuro cuñado, William Wright. Cortésmente, desconociendo su futuro parentesco, Hubble le escribió solicitando su permiso por adentrarse en un tema que consideraba como suyo. Wright amablemente le contestó: «Yo no soy el dueño de las nébulas».

Aunque no puede decirse que fuera exclusivamente obra de Hubble, lo más interesante de su clasificación fue la distinción entre nébulas galácticas y nébulas no galácticas. Entre las nébulas galácticas, pertenecientes a la Vía Láctea, las había «planetarias» (figura 1), «difusas» y «oscuras». Sin embargo, cuando hoy se habla de la clasificación de Hubble, nos referimos a la subclasificación que hizo de las nébulas no galácticas.

La clasificación de Hubble fue variando con el tiempo. En 1922, su esquema ya tenía la forma de diapasón para las nébulas extragalácticas. En el mango del diapasón estaban las «nébulas elípticas», o simplemente «elípticas» (figura 2), por su apariencia. Había unas circulares, al menos en proyección, que llamó E0, que ocupaba el extremo del mango. Hasta llegar a la bifurcación del diapasón, la elipticidad iba aumentando progresivamente, y se denominaban E1, E2... E7.

Tras la bifurcación estaban las «nébulas espirales», o simplemente «espirales» (figura 3), que se caracterizaban por poseer brazos espirales, como si de un torbellino se tratara. Pero las había de dos tipos, correspondientes a los dos brazos del diapasón (figura 4). Unas tenían una «barra» que atravesaba el centro y de la que emergían los brazos, y otras, las «normales», no tenían barra. A las que no tenían barra, las llamó S, seguida de una letra, a, b o c. En las Sa, los brazos estaban «como muy pegados al cuerpo», en las Sb, menos, y en las Sc estaban muy abiertos. En la otra parte del diapasón estaban las barradas. Para ellas siguió el mismo criterio, pero añadiendo una B tras la S. Así, las había SBa, SBb y SBc. Este esquema, básicamente, subsiste hoy, con algunas variantes que comentaremos. Finalmente, había algunas pocas que no tenían forma, no tenían ningún tipo de simetría rotacional, y las llamó «irregulares», quedando fuera del diapasón.

La clasificación fue mejorando con los años. Apareció un nuevo tipo, las lenticulares, o espirales sin brazos. Y se fueron añadiendo letras, sufijos y prefijos según se fueron encontrando más detalles que se suponían estructurales. Hubble situó las galaxias lenticulares, S0, en el punto de bifurcación que separaba las elípticas, las espirales no barradas (véase la figura 5, en la página 91) y las espirales barradas (figura 6).







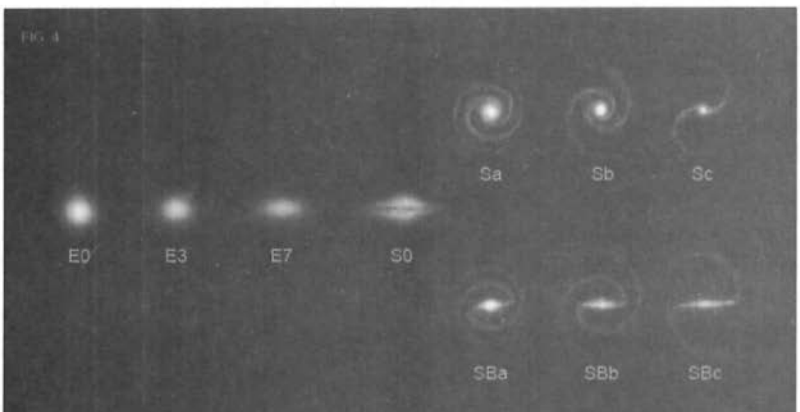


FIGURA 1:
Una nebulosa galáctica de las llamadas «nebulosas planetarias», producidas por la eyección de masa de una estrella de masa moderada.

FIGURA 2:
Una típica galaxia elíptica.

FIGURA 3:
La galaxia Andrómeda, típica espiral. Fue la primera en la que se determinó su velocidad de alejamiento. En ella se descubrieron las primeras cefeidas en una espiral. Por su cercanía, fue objeto de especial atención en la discusión de los universos islas.

FIGURA 4:
El diapasón de Hubble, que esquematiza su sistema de clasificación de las galaxias.

No era Hubble el único investigador que se interesaba por la clasificación galáctica. Hubo un conflicto muy agrio entre Hubble y el astrónomo sueco Knut Emil Lundmark, quien trabajó en los observatorios Lick y Mount Wilson por aquel entonces. Lundmark también observó que había estrellas en M33 e intentó en vano encontrar los movimientos de rotación que había imaginado Van Maanen. Por ello, era partidario, como Curtis y Hubble, de la teoría de los universos islas. Procuraba, sin embargo, eludir la agresión dialéctica de Shapley.

Hubble, en lugar de enviar a publicar su esquema de clasificación a una revista, prefirió mandárselo al presidente de la International Astronomical Union (IAU), pensando que más que una investigación, lo que proponía él era un esquema para ser adoptado internacionalmente. En la IAU existían, como hoy, varias comisiones. La que tenía que tratar este asunto era la Comission on Nebulae and Star Clusters, que ya en 1923 estaba presidida por Slipher, quien no quería que la decisión de dicha comisión sobre la clasificación de la IAU estuviera contaminada por las ideas de Hubble pero, ante la insistencia de este, tuvo que plantearlo a la comisión.

El asunto se fue demorando. Mientras tanto, Lundmark publicó un artículo con una clasificación que, a los ojos de Hubble, era un completo plagio. El competitivo Hubble escribió a Slipher las más duras palabras sobre la ética de Lundmark, quien no solo le había plagiado, sino que ni le había citado, a pesar de que tenía que ser consciente de su propio trabajo, al haber sido discutido públicamente en un congreso al que él no asistió, pero Lundmark sí. Y también le escribió a Lundmark acusándole de plagio:

> Esta es una expresión suave de mi opinión personal sobre su conducta y, a no ser que lo pueda explicar de alguna forma inesperada, tendré gran placer en llamar la atención constante y enfáticamente, en cuanto se presente una ocasión, sobre sus curiosas ideas de la ética.

Hubble también arremetió contra Lundmark en la publicación enviada varios meses después. Lundmark no decía nada, pero ya lo hacía Shapley por él, quien convencía a Russell de que la clasificación de Lundmark era bastante mejor que la de Hubble. ¿Y

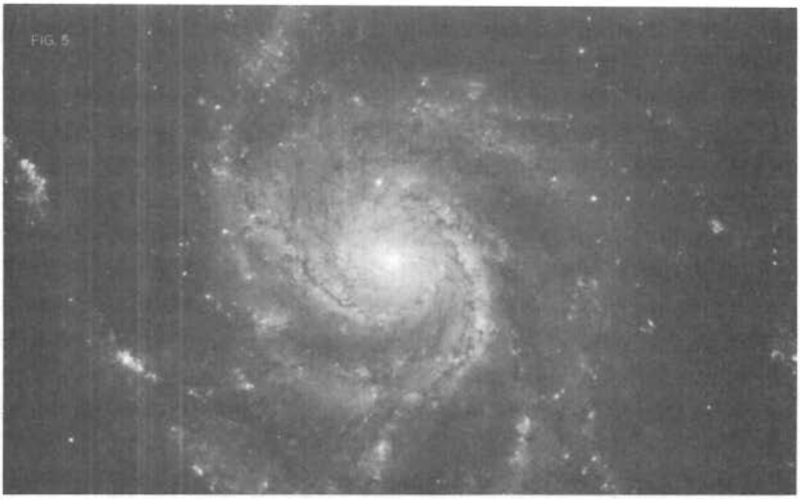


FIGURA 5:
M101, una galaxia espiral típica.

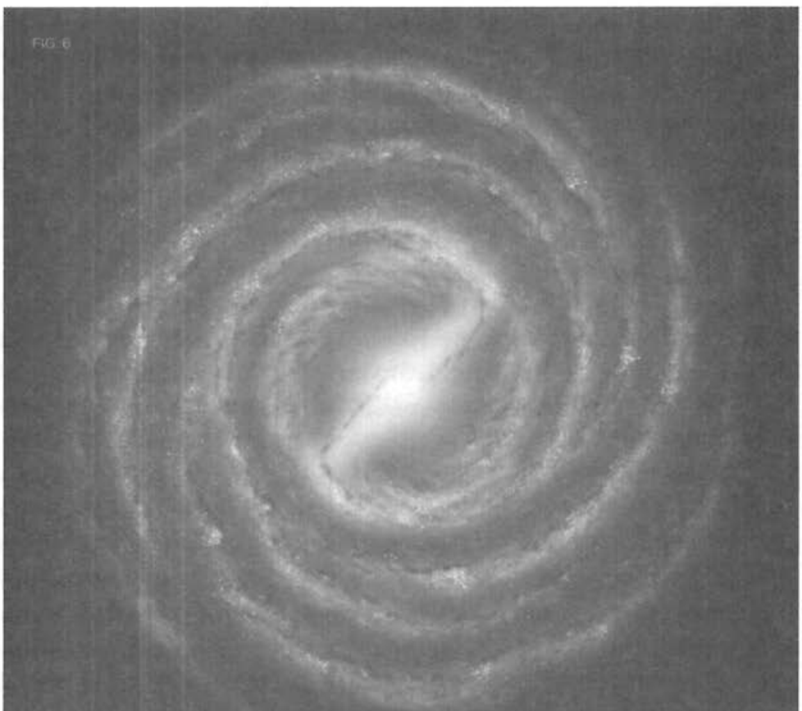


FIGURA 6:
La Vía Láctea es una galaxia espiral barrada. Con el trabajo inicial de Shapley y muchos otros científicos posteriores hemos adquirido esta concepción de sus dimensiones y estructura. El descubrimiento de la barra es muy reciente.

qué decía la Unión Astronómica Internacional? En primer lugar, desaprobaron la nomenclatura que había propuesto Hubble, quien había llamado «tempranas» a las galaxias de la izquierda del diapasón y «tardías» a las de la derecha. Suponía que las galaxias evolucionaban en el tiempo de izquierda a derecha en el diapasón, de elípticas a espirales, y que estas iban abriendo sus brazos progresivamente. Según la IAU, una clasificación debía ser objetiva y no presuponer ninguna interpretación teórica de tipo evolutivo.

Hubble era muy consciente de esta regla de trabajo, pero lo había hecho así debido a su amistad con el prestigioso astrónomo británico James Jeans, quien había elaborado un modelo teórico en el cual las galaxias evolucionaban precisamente reproduciendo el orden que Hubble les había puesto. Su amistad mutua, aprovechando una larga visita de Jeans a Mount Wilson, tenía que haberse producido de forma natural. Jeans quería a un observador que confirmase sus predicciones y Hubble quería a un teórico que diera sentido físico a su clasificación. Pero la IAU tenía razón, no se podía hacer una clasificación con prejuicios teóricos. ¿Qué ocurriría si la teoría acababa considerándose incorrecta? Eso fue lo que pasó, pues el mismo Jeans acabó diciendo que no tenía ni idea de cómo evolucionaban las nébulas.

Shapley, que pertenecía a la Comission on Nebulae and Star Clusters, quizá tuviera algo que ver en la negativa a la clasificación de Hubble. El caso es que la IAU decidió no adoptar el esquema de clasificación de Hubble por considerar que estaba demasiado influido por prejuicios teóricos. Si Hubble quería publicarlo, sería sin el apoyo de la IAU. La decisión fue adoptada en una reunión en Cambridge en 1925.

Así lo hizo Hubble y propuso su esquema diapasón que se utiliza en la actualidad. Debería haber suprimido las palabras «temprana» y «tardía». El caso es que, a pesar de que hoy no se piensa que la secuencia de Hubble sea temporal, ha permanecido incomprensiblemente en el lenguaje de los astrónomos y se sigue hablando de, por ejemplo, «espirales tardías». El esquema de Hubble era muy apropiado porque reunía sencillez y completitud y en nuestros días se llama internacionalmente «clasificación de Hubble».

¿LUNDMARK O HUBBLE?

¿Había plagiado Lundmark a Hubble, como pretendía este? Hubble se vio envuelto en problemas como este por su demora en publicar sus resultados. Se retrasaba normalmente al escribir, lo cual le llevaba a enfrentamientos cuando alguien se le adelantaba. Así ocurrió en el problema de la clasificación galáctica y así le pasó con la misma conocida ley que hoy lleva su nombre. ¿Plagió Lundmark a Hubble? Es una cuestión de prioridad que los historiadores de la ciencia moderna no han resuelto.

Lundmark había estado trabajando en este tema tanto como Hubble o más. Su clasificación era muy parecida, pero las diferencias no eran de pura nomenclatura. Por ejemplo, las elípticas de Lundmark se diferenciaban unas de otras por su distribución radial de luminosidad más que por su elipticidad que, en cierto modo, es una propiedad que depende de la proyección y no es completamente estructural. Las espirales se diferenciaban unas de otras por su forma más que por el grado de separación de los brazos. Si había empleado los nombres de elípticas y espirales, estos términos no eran invención ni de él ni de Hubble, pues ya se habían utilizado a mitad del siglo XVIII por los astrónomos S. Alexander y F. Ross.

Lundmark era agradecido con muchos colaboradores del observatorio Mount Wilson menos con Hubble, lo cual no era raro por el carácter distante de Edwin. Lo que probablemente ocurrió es que los trabajos que llevaron a la clasificación galáctica se hicieron por ambos astrónomos independientemente. Si había tantas coincidencias era porque la clasificación era bastante natural. En otras palabras, la clasificación de las nébulas no era un problema tan difícil. Era natural que coincidieran dos trabajos independientes. Si esto fue así, las agrias opiniones de Hubble estuvieron completamente fuera de lugar. En realidad, aunque Hubble consideraba que su esquema de clasificación era uno de sus más preciados logros, y aunque esta clasificación fuera necesaria, el mérito es inferior comparado con sus otros descubrimientos.

Las nébulas galácticas de Lundmark podían tener forma de anillo, o «nébulas planetarias» o «informes», brillantes u oscuras.

Tampoco se puede atribuir a Hubble en exclusividad la constatación de la diferencia entre nébulas galácticas y extragalácticas. A estas últimas, Lundmark las llamaba «anagalácticas».

A Hubble le dolió el rechazo de la IAU de su esquema de clasificación de nébulas. Pero pronto pudo resarcirse con un nuevo viaje a Europa que realizó con Grace. Le iban a nombrar presidente de la Comisión de Nébulas y Cúmulos Globulares de la IAU en la reunión que tendría lugar en Leiden, y Turner le comunicó que la Royal Astronomical Society le había nombrado asociado correspondiente. Este viaje a Europa comenzó en enero de 1928 y duró cinco meses.

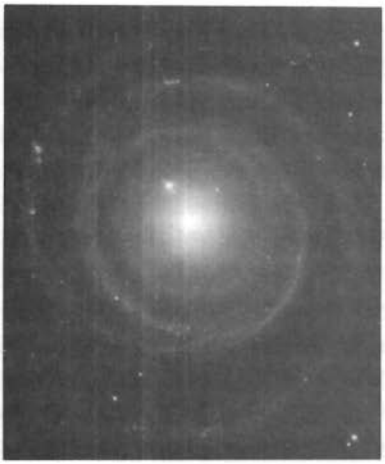
¿ES LA CLASIFICACIÓN DE HUBBLE UNA BUENA CLASIFICACIÓN?

Así debe de ser, porque se sigue utilizando. También puede ser que se siga utilizando por inercia o tradición; después de todo, seguimos usando los términos «tempranas» y «tardías», cuando sabemos bien que el parámetro que alinea la clasificación de Hubble no es el tiempo.

La pregunta requiere una reflexión. Una buena clasificación ha de ser lo más sencilla posible y que, sin embargo, incluya el mayor número de individuos posible. Parece que la clasificación de Hubble cumple con estos requisitos, pues las galaxias que no se alinean en el diapasón son las llamadas «irregulares», que son, en proporción, muy pocas.

Se puede pensar que si la clasificación resultó exitosa fue por casualidad, al haberse basado exclusivamente en placas fotográficas que solo cubrían una región muy pequeña del espectro electromagnético, la región del visible. El aspecto de una galaxia en otras longitudes de onda no se parece nada. Es más, hoy se piensa que, en realidad, una galaxia es básicamente su materia oscura. Su materia visible es del orden de un 1% aproximadamente. La materia visible es importante únicamente porque es lo que vemos, pero dinámica y estructuralmente se puede considerar que no es más







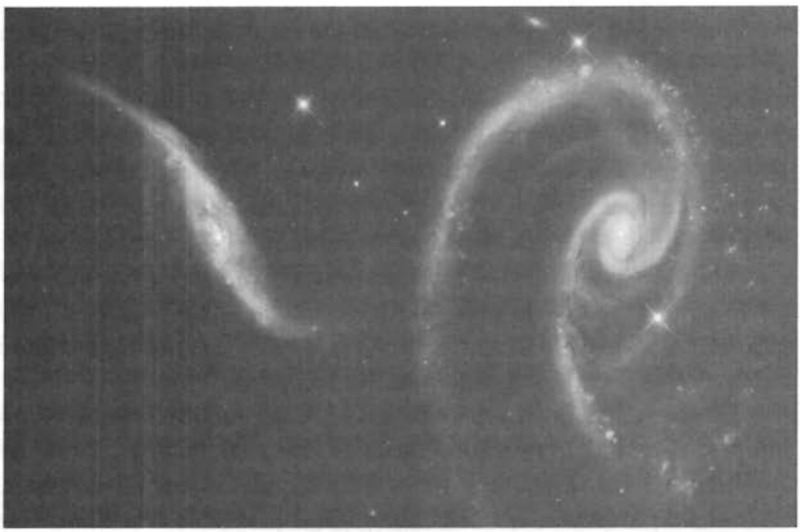
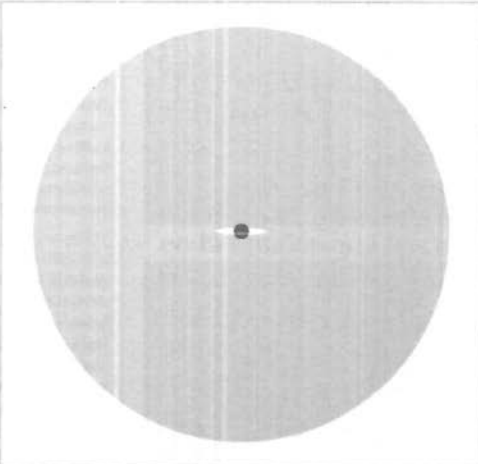


FOTO SUPERIOR:
Una galaxia espiral vista de perfil, la llamada Galaxia del Sombrero. En ella se aprecia el bulbo, grande y brillante, y una considerable banda de polvo.

FOTO CENTRAL IZQUIERDA:
Galaxia espiral. A Hubble le preocupó la determinación del sentido de giro de los brazos. Esta galaxia puede mostrar ella sola que ambos sentidos de giro son posibles: los brazos interiores parecen girar en diferente sentido que los exteriores.

FOTO CENTRAL DERECHA:
Algunas galaxias tienen rasgos especiales. M82 es muy pequeña y tiene una fuerte eyección en dirección perpendicular al plano de su disco. Estas eyecciones son decisivas en el enriquecimiento del medio intergaláctico de metales y campo magnético.

FOTO INFERIOR:
En el extremo derecho del diapasón están las galaxias irregulares, con formas caprichosas debido a que suelen corresponder a la fusión de dos galaxias.



Bulbo, disco y halo de materia oscura. Hubble realizó su clasificación sin tener en cuenta este halo de gran masa y extensión, basándose exclusivamente en el aspecto de sus componentes minoritarios.

que un «adorno» luminoso (véase la figura).

¿Cómo se puede hacer una clasificación basada en una componente minoritaria, la materia visible, y que solo tiene en cuenta una región mínima del espectro, la región del visible? ¿Habría Hubble propuesto la misma clasificación si hubiera dispuesto de imágenes en rayos gamma, o si hubiera conocido la distribución de materia oscura en el halo de las galaxias?

Por otra parte, se basó mucho en la apariencia de los brazos espirales. Hoy sabemos que los brazos espirales son ondas de densidad, muy llamativos porque es allí donde nacen las estrellas y donde se pueden encontrar las estrellas muy brillantes y efímeras. Pero los brazos espirales, con ser muy llamativos como fenómeno luminoso, no son tan importantes desde el punto de vista de la distribución de la masa. Esta tiene una distribución mucho más axisimétrica que lo que sugieren los brazos. Catalogar las galaxias según los brazos es como definir el mar como «algo» que tiene olas. Sería más lógico definir el mar especificando su composición química, su profundidad, etc., y no resaltar algo tan «superficial» como las olas.

Las barras tampoco son un rasgo distintivo esencial. Es cierto que la formación de barras influye en la evolución galáctica, pero se trata de una perturbación de una naturaleza semejante a los brazos espirales. La distinción entre elípticas y espirales es mucho más acusada que entre las espirales con barra o sin barra. Es probable que hubiera sido más oportuno hablar simplemente de espirales, dejando para una subclasificación si tienen barras, anillos u otros rasgos que se aprecian en las espirales.

Desde luego, no fue oportuno hablar de galaxias tardías o tempranas, como le recriminó la IAU. No es la edad el parámetro que engarza los diferentes tipos de galaxias. Pero, en realidad, ¿hay algún parámetro que los engarce? ¿O podemos sencillamente

decir que hay galaxias elípticas, lenticulares, espirales e irregulares, sin insistir en ponerlas ordenadas, en fila india, o en forma de diapasón? Si es así, la clasificación ya se había hecho mucho antes, salvo que las lenticulares no se conocieron hasta más tarde.

La clasificación de Hubble contiene muchos defectos como los señalados y no da cuenta de fenómenos estructurales más importantes, tales como la presencia de un núcleo activo (un agujero negro central como lo poseen los cuásares), eyecciones nucleares, etc. La clasificación de Hubble parece arbitraria, pero, entonces, ¿por qué se sigue utilizando?

La distinción de los tipos de galaxias, más que su ordenación, se hizo según la apariencia en las placas fotográficas, pero los rasgos en estas placas están relacionados con propiedades estructurales. Así, las espirales tienen un disco y un bulbo. Este último tiene una distribución de brillo semejante a una elíptica. En cierto modo, una elíptica es como una espiral sin disco. Pero si vamos de las Sa hacia las «tardías», no solo los brazos se van abriendo, sino que, lo que es estructuralmente más importante, el bulbo es cada vez menor y los discos tienen en proporción más gas y, por tanto, mayor capacidad para formar estrellas. Las elípticas no tienen casi gas. Las lenticulares podrían concebirse como galaxias con un disco que no tiene gas. En otras palabras, los rasgos morfológicos estaban relacionados con parámetros realmente estructurales.

¿De qué depende la diferente elipticidad de las elípticas? Inicialmente se pensó que de la rotación. Cuanto más deprisa girasen, más aplanadas debían ser. Hoy sabemos que el grado de achatamiento no es la rotación, sino una distribución anisotrópica de velocidades de las estrellas dentro de la galaxia.

En la clasificación de las estrellas de la secuencia principal, hay un parámetro que alinea su posición: es la masa de la estrella (y no el tiempo, como también se pensó en un principio). Quizá en las galaxias no hay tal parámetro. Si las elípticas pueden desarrollar un disco posteriormente, si las espirales perdieron su disco gaseoso barrido por el medio intracumular, si la fusión de dos espirales puede producir una elíptica, y otros muchos efectos que podríamos mencionar, hace que el alineamiento de los distintos tipos de galaxias sea un fenómeno complejo.

CAPÍTULO 3

La ley de Hubble

La luz emitida por una galaxia tiene un desplazamiento al rojo. ¿Es debido a un efecto Doppler por una velocidad de alejamiento? Hubble fue escrupulosamente objetivo y solo habló de «velocidades aparentes». Su conocida ley es en realidad una relación entre el desplazamiento al rojo y la distancia. ¿Pero quién la formuló primero? Trece años antes que Hubble, ya la había propuesto De Sitter, y Lemaître fue quien primero la obtuvo usando observaciones publicadas. Pero Hubble y Humason, si no fueron los primeros, la confirmaron a partir de un número extraordinariamente mayor de datos.

Cuando en 1928 Hubble volvió de uno de sus viajes a Europa encontró a Humason muy excitado. La causa eran unos comentarios oídos a algunos astrónomos. Por entonces, ya se habían publicado varias distancias a galaxias (por el mismo Hubble) y varias velocidades de alejamiento (por Slipher). La relación distancia-velocidad estaba en el aire. Lo que había oído Humason era que cuanto más débiles eran las nébulas, mayor era su distancia y mayor era su desplazamiento al rojo. Si esa relación existía tenía que ser el mayor Hubble quien la confirmara y enunciara con mayor precisión y seguridad. Hubble y él tenían los mejores datos para encontrarla. Le suplicó a Hubble: «Mándemelo y me pondré a comprobarlo».

Esto hizo que ambos se pusieran a trabajar denodadamente. Humason encontraría más y más nébulas, muy débiles por lejanas, y obtendría placas de los espectros. El límite era que se apreciaran las posiciones de las rayas H y K del calcio. Mientras tanto, Hubble buscaría nuevos métodos de determinación de distancias, pues en nébulas tan lejanas ya no había ninguna posibilidad de reconocer cefeidas.

El nuevo método que utilizó Hubble fue el de las galaxias más brillantes de un cúmulo de galaxias. Pronto se vio que la mayoría de las galaxias estaban agrupadas en cúmulos. Era lógico suponer que todas las galaxias de un cúmulo estaban a la misma distancia. En los cúmulos había galaxias más luminosas y menos lumino-

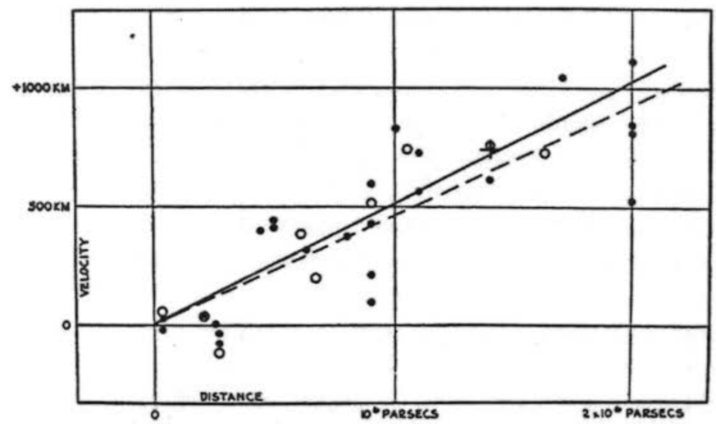
sas. Por tanto, el flujo de una galaxia individual no era un buen indicador de distancia. Solo la relación entre flujo y distancia se cumpliría estadísticamente. Sin embargo, eligiendo solo las galaxias más luminosas de un cúmulo —según se aseguró Hubble—, el indicador de distancia era mucho mejor. Aunque el método no era tan preciso como el de las cefeidas, era utilizable; al menos, entonces no se contaba con nada mejor.

LAS MEDIDAS DE VELOCIDAD DE HUMASON



El astrónomo estadounidense Milton Humason. Su importante papel en la cosmología observacional está infravalorado.

Slipher obtuvo velocidades de muchas nébulas espirales, pero si se quería establecer la que habría de llamarse en el futuro «ley de Hubble», había que medir muchas más velocidades y, especialmente, para nébulas mucho más distantes, por tanto muy débiles, no accesibles al modesto telescopio de Slipher. Había que utilizar el telescopio de 100 pulgadas de Mount Wilson. Las medidas con este telescopio eran realmente mucho más profundas. El astrónomo asistente, Milton Humason, «Milt», como se le llamaba, iba encontrando nébulas muy débiles y obtenía su desplazamiento al rojo. A partir de ahí, el mayor Hubble calculaba la velocidad, sorprendiéndose Milt de la rapidez con que lo hacía. Eso pensaba Milt, aunque en realidad lo que debía hacer Hubble era simplemente multiplicar el desplazamiento al rojo por la velocidad de la luz. Humason fue obteniendo velocidades más y más altas. Primero encontró una nébula con una velocidad aparente de 3000 km/s, mucho más alta que las que había encontrado Slipher. Esto no fue nada, porque en un día milagroso para la astronomía llegó a medir 20000 km/s, lo que celebró abriendo una botella de Panther Juice que compartió con su colega de observación aquel día. Empezaban a obtenerse velocidades del orden de la décima parte de la inalcanzable velocidad de la luz. Cuando la alcanzaran, ¿estarían hablando de los confines del universo? Eran días verdaderamente mágicos para Milt y el mayor Hubble.



La gráfica original que demuestra la ley de Hubble. En abscisas se representa la distancia a cada galaxia en parsecs (1 parsec = 3,258 años-luz), y en ordenadas, su velocidad aparente en kilómetros por segundo.

Cuando el flujo recibido de las galaxias distantes elegidas era 100 veces menor que las correspondientes en el cúmulo de Virgo, es que estaban 10 veces más alejadas, pues era bien conocido, quizá desde los tiempos de Kepler, que el flujo se pierde según el inverso del cuadrado de la distancia.

Combinando las pioneras medidas de velocidad de Slipher con las nuevas de Humason, podía ciertamente estimarse la posible relación de la velocidad con la distancia para un rango de distancias inaccesible a cualquier otro telescopio. Poniendo en ordenadas las distancias y en abscisas las velocidades, se encontraba una línea recta, aunque con las correspondientes barras de error, tanto más grandes cuanto más distantes estaban las nébulas (véase la figura).

Eso quería decir que la distancia y la velocidad eran directamente proporcionales. A la constante de proporcionalidad Hubble la llamó K, pero pronto se escribió H_0, con H de Hubble, a propuesta del teórico Richard Tolman, amigo de Hubble en Caltech. El subíndice 0 se reserva en cosmología para el momento presente. La ley de Hubble se había encontrado; más bien, se había confirmado y precisado:

$$v = H_0 r,$$

siendo r la distancia y v la velocidad. La distancia se medía en Mpc (megaparsec; 1 parsec equivale 3,258 años luz). La velocidad se medía en km/s. Las unidades de H eran pues km/(s Mpc). El valor encontrado por Hubble y Humason era $H_0 = 558$ km/(s Mpc), un valor extremadamente alto, pues actualmente se adopta el valor de 71 km/(s Mpc). Pronto hablaremos de la fuente de este error.

Extraordinariamente simple. ¿Quizá demasiado simple? El artículo «The Velocity-Distance Relation Among Extra-Galactic Nebulae», escrito por Hubble y Humason, fue publicado en *The Astrophysical Journal* en 1931.

Recordemos que empleamos sistemáticamente la palabra «nébula» en lugar de «galaxia» porque era el término empleado por Hubble y por ser palabra de origen latino. Hubble nunca empleó la palabra «galaxia».

Hubble tampoco quiso decir que esas velocidades fueran velocidades reales. Lo que verdaderamente se medía eran desplazamientos al rojo de las líneas espectrales. Si estos desplazamientos representaban un movimiento real o no, calculable con la fórmula del efecto Doppler, no lo podían saber a ciencia cierta; ello suponía un prejuicio teórico. Por eso, aunque él empleaba la letra v y lo medía en km/s, señalaba que se trataba de velocidades «aparentes». No descartaba, en un buen ejemplo de objetividad observacional, que el desplazamiento al rojo z se podía deber a otros efectos desconocidos diferentes al efecto Doppler. En realidad, era consciente de que algunos teóricos lo habían previsto y no lo interpretaban de forma tan sencilla.

¿Y si no era un efecto Doppler? No solo era el interés de emplear un término sin prejuicio teórico alguno. Hubble sabía que el astrónomo búlgaro Fritz Zwicky (1898-1974) había propuesto que el desplazamiento al rojo se debía a un debilitamiento de la energía de los fotones en su camino desde la galaxia hasta nosotros. Era la hipótesis de la «luz cansada». También podía inferirse el «cansancio de la luz» si existían partículas materiales de algún tipo que mediante interacción con los fotones les iban robando a estos paulatinamente su energía y, debido a la conocida fórmula de Planck, $E = hv$, al perder energía, el fotón perdía frecuencia, es decir, se enrojecía.

Los relativistas tampoco interpretaban la velocidad como real. Hubble no estaba preparado para entender esto y, por otra parte, no consideraba que esa fuera su tarea. Era consciente de que había tenido muy poca preparación como físico y basaba su éxito en la habilidad en el campo de la pura observación. Aunque no entendía —ni quería entender— la teoría de la relatividad, él era consciente de que los relativistas interpretaban el desplazamiento al rojo como «un estiramiento de la métrica», concepto cuyo significado ignoraba, pero que le hacía desconfiar del efecto Doppler para explicar z. Por eso, a la palabra «velocidad» le añadía sistemáticamente el adjetivo «aparente». Y en efecto, la cosmología actual no interpreta que el desplazamiento al rojo de las galaxias corresponda a un movimiento real: las galaxias están quietas situa-

EL TIEMPO DE HUBBLE Y EL «BIG BANG»

Las unidades de la constante de proporcionalidad (H) eran km/(s Mpc). Estas unidades no forman parte de lo que se llama un sistema homogéneo de unidades: hay dos unidades de distancia, el kilómetro y el megaparsec. Si ponemos las mismas unidades para las distancias, obtenemos $H = 1{,}9 \cdot 10^{-17}$ s^{-1}. Es una extraña cantidad que se mide en «segundos a la menos uno», el inverso de un tiempo. Tenemos entonces el deseo irrefrenable de hallar el inverso de esta cantidad y obtenemos 5,4·1016 segundos, lo que equivale a unos 2000 millones de años (hay que corregir estos valores en la actualidad: el inverso de la constante de Hubble es más bien del orden de 14000 millones de años).

Un principio para el universo

¿Qué significa este tiempo? Hoy se le llama «tiempo de Hubble»; para encontrar su significado aproximado, pensemos en lo siguiente. Supongamos que damos marcha atrás en el tiempo. Las galaxias más lejanas se acercarán a nosotros más rápidamente; las galaxias más cercanas se acercarán a nosotros más lentamente. Cuando hayan transcurrido 14000 millones de años, todas las galaxias se encontrarán aquí. Todas juntas. Una palabra nos viene espontáneamente a la cabeza: *big bang*. En realidad, ya los teóricos relativistas habían llegado a este concepto, aunque el término *«big bang»* fue acuñado por el astrofísico británico Fred Hoyle (1915-2001) mucho después. Pero Hubble no quiso entrar en especulaciones sobre el *big bang* y el principio temporal del universo.

das sobre una «malla imaginaria» que se estira. El espacio-tiempo no solamente puede curvarse, sino que también puede «estirarse».

También es curioso que en ese artículo no se mencionara en absoluto la palabra «expansión». Ni siquiera en su escrito aparecía la palabra «universo». No quería contaminar esta simplísima ley con prejuicio teórico alguno. No quería que le pasara como en la clasificación galáctica cuando habló de «nébulas tempranas» y «nébulas tardías», arrastrado por el prestigio teórico de su amigo Jeans.

La ley de Hubble había sido encontrada para el «momento actual». Aunque una nébula estuviera a una distancia de 30 millones de años luz, y, por tanto, la luz que hoy viéramos se habría emitido hace 30 millones de años, podemos decir que este pasado es casi el presente, pues 30 millones de años no son nada comparado con los 14 mil millones de años que puede tener de vida el universo. Observamos el pasado, y solo el pasado, pero un pasado relativamente muy próximo al presente. Y si, como Hubble, queremos evitar interpretar el desplazamiento al rojo como un efecto Doppler, tendríamos que escribir:

$$z = (H_0/c)\, r.$$

El desplazamiento al rojo es proporcional a la distancia. Esto —el desplazamiento al rojo, z— es realmente lo que se mide. Dicha expresión es la forma más objetiva de la ley de Hubble.

¿ES LA LEY DE HUBBLE DE HUBBLE?

No, no lo es, pero precisemos un poco esta afirmación.

Entre los frecuentes altercados con sus colegas, Hubble tuvo un desagradable e injusto enfado con el teórico neerlandés Willem de Sitter (1872-1934), uno de los más admirables cosmólogos relativistas. De Sitter le envió un artículo suyo que había publicado en una revista poco conocida —*Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*— en el que decía que varios astrónomos comentaban una posible relación entre la distancia y la velocidad de las galaxias. Hubble escribió a De Sitter estas duras palabras:

> Siempre hemos asumido que cuando se publica un resultado preliminar y se anuncia un programa para comprobar el resultado... se reserva la primera discusión de los nuevos datos a los que han hecho el trabajo real, como una cuestión de cortesía. ¿Hemos de inferir que usted no subscribe esta ética?

De Sitter no se merecía estos improperios pero, de espíritu conciliador, debió de aplacar la ira de Hubble, porque en la próxima carta, Edwin ya escribía:

> Mr. Humason y yo estamos ambos profundamente sensibles a su graciosa apreciación de los artículos sobre las velocidades y distancias de las nébulas.

En todo caso, esto corrobora el hecho de que la ley de Hubble estaba ya madura, próxima a caer, cuando Hubble la recogió del árbol. Pero, sobre todo, De Sitter no se merecía esta reacción porque era él mismo quien había predicho, trece años antes, la relación lineal entre distancias y velocidades por métodos teóricos. La teoría y la experimentación —en el caso de la astrofísica, la observación— deben ir juntas, o con separaciones temporales breves, beneficiándose mutuamente la una de la otra para conseguir un resultado científico único. Pero, en modo alguno, la teoría no ocupa un grado inferior. Fue el teórico De Sitter quien enunció lo que hoy se llama «ley de Hubble», que bien se hubiera podido llamar «ley de De Sitter», o en todo caso, «ley de De Sitter-Hubble». Pero Hubble desdeñaba la teoría.

En este caso, la teoría fue por delante de la observación, desde que se dispuso de la relatividad como herramienta para pensar en la física del universo. Pero, además, la ley de Hubble requiere muy pocos conocimientos teóricos, como vamos a ver pronto. Cualquier estudiante con mínimos conocimientos de mecánica de fluidos podría haberla obtenido, incluso con razonamientos puramente newtonianos. Y si De Sitter fue el primer teórico que la enunció, no fue el único.

Antes, veamos los pasos vacilantes que antecedieron a los pasos firmes de Hubble. Ya se ha expuesto de qué modo Slipher

había encontrado grandes velocidades de las galaxias espirales, alentado por su mentor, el millonario visionario Percival Lowell. Las velocidades eran siempre positivas, salvo algunas excepciones, entre ellas la de Andrómeda. Slipher pensó que estas velocidades eran resultado del movimiento del Sol y que, cuando se hicieran más medidas en el hemisferio sur, aparecerían más velocidades negativas. Pero si el Sol se movía hacia un punto, un «apex», por ajuste se podían descomponer los movimientos observados en un movimiento del Sol con respecto a las nébulas, más un movimiento residual que resultaba ser de expansión. Una serie de autores —entre los que se encontraba Adams— detectaron un movimiento de expansión neto. El movimiento del apex con respecto a las nébulas acabó incluso siendo descartado. Puede decirse que fue Slipher quien descubrió la expansión.

Albert Einstein (1879-1955) enunció la relatividad general en 1915 y un año más tarde formuló su primer modelo estático del universo. Ese mismo año (1916), De Sitter publicó en la revista *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* otro modelo del universo en el que suponía que la densidad de materia era despreciable. Este universo no era estático, sino que estaba en expansión. Con él, se presentaba la proporcionalidad distancia-velocidad: la ley de Hubble. En él se predecía claramente que «para objetos a muy grandes distancias debíamos esperar grandes y muy grandes velocidades radiales». La relación entre velocidades y distancias debería ser lineal, del tipo $v = Kr$.

Pero en aquellos tiempos no había métodos para calcular bien las distancias. Las más lejanas serían estadísticamente más pequeñas. El astrónomo alemán Carl Wilhem Wirtz (1876-1939), del observatorio de Estrasburgo, se dio cuenta de que las velocidades radiales eran mayores cuanto más pequeñas (angularmente) eran las nébulas espirales. Lundmark, uno de los astrónomos más acosados por Hubble, buscó la relación de De Sitter, con la hipótesis de que las nébulas tenían el mismo tamaño real, de forma que el tamaño angular fuera inversamente proporcional a la distancia. Lundmark concluyó que la fórmula de De Sitter era cierta, aunque no de una forma muy clara.

La teoría iba desarrollándose. En 1920, Alexander Friedman (1888-1925), y un par de años más tarde, pero independientemente, Georges Lemaître (1894-1966), elaboraron modelos del universo ya muy parecidos a los actuales, en los que, desde luego, se insistía en la relación $v = Kr$, aunque en este caso la relación sería lineal solamente para objetos astronómicos no extraordinariamente lejanos, estrictamente solo válida para el universo actual. Se obtenían incluso valores de la constante K, que después se llamaría H_0, la constante de Hubble. Los modelos teóricos se tratarán más adelante, por la relación importante y lógica que tuvieron con el trabajo de Hubble.

> «La historia de la astronomía es la historia de los horizontes alcanzados.»
>
> — EDWIN POWELL HUBBLE, *THE REALM OF THE NEBULAE* (1936).

Como sabemos, los artículos de Hubble se publicaron en 1929 y 1931, el segundo con Humason. Es decir, el primer trabajo de Hubble, que contenía su famosa ley, se escribió trece años después de que De Sitter la predijera. Además, otros autores habían buscado esa ley y, en cierto modo, la habían encontrado, buscando el acuerdo observacional con la previsión de De Sitter. Vemos cómo el enfado de Hubble con el respetable relativista de los Países Bajos estaba completamente fuera de lugar.

Desde el punto de vista observacional, ¿quién fue el primero que encontró la llamada ley de Hubble sin ningún género de duda? Fue el mismo Lemaître, quien lógicamente quería comprobar que las medidas de velocidades y distancias se ajustaban a su predicción. El caso merece especial atención, porque incluso Hubble ha sido más recientemente acusado de plagio.

El sacerdote belga Georges Lemaître era un teórico relativista, quien junto con Friedman propuso la teoría del *big bang*. En 1927 publicó en la revista belga *Ann. Soc. Sci. Brux.* un artículo titulado «Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant», en el que su teoría predecía la llamada «ley de Hubble» para distancias no excesivamente grandes. Pero no contento con la teoría, se molestó en usar observaciones reales para ver si se

cumplía. Para ello, Lemaître empleó datos publicados, de velocidad de Slipher y de luminosidad de Hubble (como aún no había métodos mejores, usó la luminosidad constante como indicador de distancias). Y encontró la ley de Hubble con el valor de la constante de Hubble de 625 km/(s Mpc), con una buena discusión de los errores.

«Las observaciones siempre llevan implícita la teoría.»

— Edwin Powell Hubble.

Dos años después, en 1929, apareció el artículo de Hubble, obteniendo un valor parecido de la constante de Hubble (aunque, como sabemos, casi un orden de magnitud mayor que el valor adoptado hoy). Como el artículo de Lemaître estaba en francés y se había publicado en una revista europea «desconocida», nadie puede asegurar que Hubble lo leyó. Además, era un trabajo teórico que Hubble no hubiera entendido. Pero el artículo de Lemaître llamó la atención de Eddington, que quiso publicar una traducción en inglés en el *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. La traducción se publicó en 1931.

Y aquí está el problema, porque en la traducción se omitió precisamente la comprobación observacional de lo que hoy se llama «ley de Hubble». ¿Quién fue el censor que eliminó tan importante página? ¿Tuvo algo que ver el competitivo Hubble en esta censura? Recientemente, el investigador Mario Livio, estudiando las cartas que intercambiaron Lemaître y la Royal Astronomical Society, ha llegado a la conclusión de que fue el mismo Lemaître quien se autocensuró. ¿Por qué? ¿Quería evitar Lemaître el mismo encontronazo que Hubble había tenido con su vecino De Sitter? ¿Reconocía Lemaître la superioridad observacional de Hubble? ¿Sobraba esta página cuando ya Hubble lo había publicado con más contundencia? Todo sigue siendo un poco misterioso.

Así pues, la ley de Hubble fue propuesta por De Sitter mediante reflexiones teóricas. Quien primero la encontró utilizando observaciones publicadas fue Lemaître. Es más, quizá Hubble no hubiera buscado su ley de no ser porque el acuciante Humason le comunicó que tal ley ya se «estaba encontrando».

Con todo esto, el mérito de Hubble y Humason para asegurar la certeza de la ley de Hubble, con un número de nébulas extraordinario, con una cantidad de horas de observación igualmente extraordinaria, utilizando métodos de determinación de distancias muy precisos (las cefeidas, pero no solo ellas) es innegable. Sus palabras tenían un inmenso valor: el valor del telescopio de 100 pulgadas, el mayor del mundo. ¿De Sitter, Lemaître, Witz, Humason, Shapley, Lundmark...? Varios científicos trabajaron por el establecimiento de la ley de Hubble.

¿ES CIERTA LA LEY DE HUBBLE?

No, no lo es. Pero precisemos esta negación.

En primer lugar, tenemos que comentar qué significa la palabra «velocidad». Ya hemos visto que lo que realmente se obtiene a

¿CÓMO SE DEBERÍA LLAMAR LA LEY DE HUBBLE?

Para ser justos, a la ley de Hubble habría que llamarla «ley de Slipher-De Sitter-Lemaître-Wirtz-Lundmark-Shapley-Humason-Hubble». Y aún podrían añadirse más nombres a esta extensa lista. Pero esto sería muy engorroso y podemos simplificar asignándosela a uno solo de sus autores. Es un poco injusto, pero la fama tiene sus propios mecanismos y no puede abarcar a tanta gente. Era el momento en que tal ley se podía y se debía encontrar. Pero Hubble es uno de los más distinguidos de esta lista y el que la ley lleve su nombre a nadie repugna y nadie propone otra asignación. Hubble puso el sello definitivo y firme a una ley que ya estaba «en el aire». La precisó y la extendió a distancias nunca imaginadas. Este problema es frecuente en la investigación actual. Son muchos los científicos que contribuyen a un descubrimiento, aún sin cooperar entre ellos. Las reuniones científicas y los artículos en revistas especializadas constituyen un foro continuo en el que se detectan y se enmiendan errores. Las ideas llaman a las ideas. Hoy, casi todos los descubrimientos son colectivos. Más que un paso de gigante, se dan muchos pasitos —y no siempre en la dirección correcta— de una comunidad científica formada por hombres dotados de un buen calzado.

partir de las observaciones no es una relación entre la velocidad y la distancia, sino entre el desplazamiento al rojo, z, y la distancia. Solo si, ingenuamente, interpretamos el desplazamiento al rojo como un desplazamiento Doppler, podemos convertir una relación lineal $[z,r]$ en una relación lineal $[v,r]$.

Pero incluso con esa interpretación ingenua del efecto Doppler, si consideramos mayores y mayores distancias, entonces llegará un momento en el que la velocidad de alejamiento será mayor que la velocidad de la luz, lo cual, como es bien sabido, es imposible según la teoría de la relatividad. Humason llegó a medir velocidades de $c/8$ pero, ¿qué pasaría al emplear el telescopio de Monte Palomar u otros telescopios mayores en el futuro?

La paradoja quedaría salvada porque la fórmula del efecto Doppler que hemos visto es solo válida para velocidades pequeñas comparadas con la velocidad de la luz. Cuando la velocidad es comparable a la velocidad de la luz, la relatividad restringida, que nos ha obligado a modificar tantas fórmulas y conceptos de la física clásica, también nos obliga a corregir la fórmula del efecto Doppler. La fórmula relativista del efecto Doppler es:

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}},$$

donde, como anteriormente, λ es la longitud de onda de una raya espectral procedente de la galaxia que se aleja, λ_0 es la longitud de onda de esa misma raya en reposo, v es la velocidad de la galaxia y c la velocidad de la luz. Ahora z será:

$$z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}} - 1,$$

en lugar de la fórmula clásica simple: $z = v/c$. Esto hace que la relación entre la velocidad (aparente) y la distancia no sea lineal. Y nunca se puede alcanzar con esta fórmula la velocidad de la luz. Imaginemos, por ejemplo, que $z = 10$, que es el mayor valor

de z de una galaxia medida hasta hoy. Esto querría decir con la fórmula clásica que la velocidad de la galaxia sería $10c$, pero con la fórmula relativista anterior obtendríamos $v = (120/122)c$, que es enorme, pero no mayor que la velocidad de la luz.

La siguiente tabla se obtiene con la ley de Hubble y con la interpretación Doppler de z. En realidad, la conversión $[z,r]$ depende del modelo de universo que se adopte:

Tabla orientativa de desplazamientos al rojo		
$z = 0{,}003$	40 mega-años luz	$v = 900$ km/s
$z = 0{,}03$	400 mega-años luz	$v = 9\,000$ km/s
$z = 0{,}3$	4 giga-años luz	$v = 90\,000$ km/s
$z = 1$	12 giga-años luz	$v = 3/5c$
$z = 5$	El universo era 6 veces más pequeño que ahora	$v = 12/13c$
$z = 10$	Galaxia más lejana encontrada	$v = 120/122c$

En segundo lugar, la teoría prevé:

$$\vec{v} = H(t)\vec{r},$$

donde ahora $H(t)$ es una función del tiempo t que los distintos modelos de universo han de especificar. Esta función $H(t)$ recibe el nombre de «función de Hubble», y la constante de Hubble sería el valor de esa función en el momento actual, es decir, $H_0 = H(t = t_0)$, siendo t_0 el tiempo actual, desde el *big bang*. Como excepción, en el modelo de De Sitter la función $H(t)$ es realmente constante.

Ahora bien, nosotros no «vemos el presente». Cuando observamos una galaxia, vemos cómo era hace un tiempo igual a r/c porque la luz tarda un tiempo en llegar a nosotros. Solo «vemos el pasado». Cuando la distancia a la galaxia no es excesivamente grande, esta sutileza no es importante, pero si la distancia es considerable, el valor de la función de Hubble cambia, y la relación de Hubble deja de ser lineal. Así pues, la ley de Hubble solo se cumple para distancias cortas, o lo que es equivalente, para valores de z muy pequeños (comparados con la unidad), en la práctica menos de unos 150 millones de años luz.

LA VELOCIDAD PECULIAR DE LA VÍA LÁCTEA

Esta velocidad, de unos 600 km/s, se conoce muy bien gracias a las medidas del Fondo Cósmico de Microondas («Cosmic Microwave Background, CMB), emisión que se produjo cuando los núcleos de hidrógeno y helio se combinaron con los electrones (época de la recombinación, $z = 1100$) según el esquema de la figura 1.

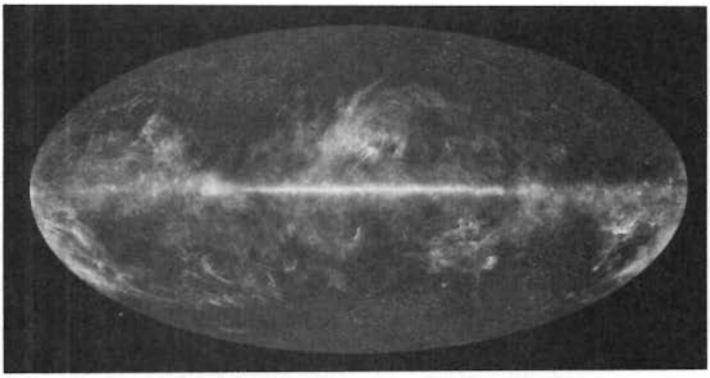
FIG. 1



En esta figura el observador se encuenta situado en el centro. Le rodea una capa esférica más externa en la que se produce el CMB. El radio de esta capa podría expresarse en años-luz (distancia), pero al hablar de distancias tan grandes, su valor depende del modelo teórico que se adopte, y se prefiere indicar su desplazamiento al rojo, $z = 1100$, aproximadamente. Más allá de esta capa, el medio está completamente ionizado y los fotones no pueden llegar hasta nosotros. En el interior de esta esfera, el medio es neutro y los fotones fluyen libremente hasta nosotros. Recientemente, en la época de la reionización, dibujada como una capa esférica pequeña en torno al observador, las primeras estrellas vuelven a ionizar el medio. Los cúmulos que se encuentran en el interior de la esfera grande producen una ligera distorsión del espectro del CMB.

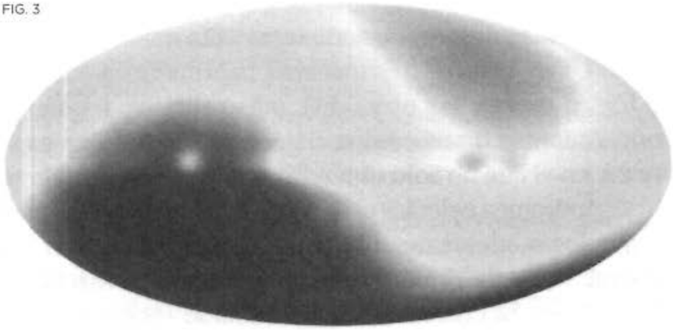
Hoy se mide muy bien, como puede observarse en la figura 2. Esta imagen es una proyección en la que se observa todo el cielo. La raya brillante en el eje mayor de esta proyección corresponde al plano de nuestra galaxia. Los penachos en torno a este plano son también parte de nuestra galaxia. Cuando descontaminamos esta contribución galáctica se aprecia ya el CMB. Esta emisión no es completamente isótropa.

FIG. 2



En la figura 3 se representa la anisotropía más grande, la llamada anisotropía bipolar, debida al movimiento de la Tierra con respecto al CMB. La Vía Láctea se dirige al punto más oscuro de este mapa a una velocidad de unos 600 km/s.

FIG. 3



Pero para el caso de distancias muy cortas, tampoco se cumple bien la ley de Hubble porque a la velocidad de expansión hay que sumar la velocidad «peculiar» de cada galaxia. De igual forma que las moléculas de un fluido tienen una velocidad debido a la agitación térmica, las galaxias tienen una velocidad «peculiar» de tipo aleatorio, por lo que deberíamos escribir:

$$v - H_0 r + V,$$

siendo V la velocidad peculiar. Esta velocidad es, por término medio, de unos 600 km/s. Por ejemplo, la velocidad peculiar de nuestra propia galaxia tiene este valor precisamente cuando se toma como referencia el Fondo Cósmico de Microondas (CMB). Normalmente, este valor de V es despreciable frente a la velocidad de expansión, pero si r es muy pequeña, V puede llegar a ser dominante, incluso puede ser positiva o negativa. Por esta razón, Andrómeda se está acercando a nosotros; no se está alejando. Por su cercanía y su espectacularidad, la primera galaxia de la que Slipher determinó su velocidad radial fue Andrómeda. Además, Andrómeda y la Vía Láctea forman (casi) un sistema binario, es decir, están ligadas y se atraen mutuamente.

LA LEY DE HUBBLE, ¿ES EVIDENTE?

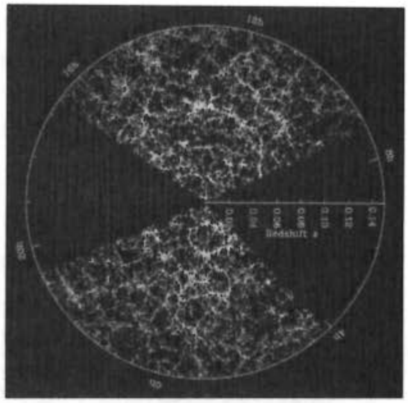
Como dijimos antes, la ley de Hubble es muy fácil de obtener con la teoría, incluso desempolvando la sencilla mecánica de fluidos newtoniana. Veámoslo de tres maneras, la primera con un razonamiento de lógica casera; las otras dos, más precisas, requieren mínimos conocimientos de mecánica clásica de fluidos y se exponen en el anexo, en el que no solo obtendremos la ley de Hubble sino que, incluso, podremos calcular el valor de la constante de Hubble. A pesar de que los modelos de universo son aplicaciones de la relatividad general, la ley de Hubble puede deducirse con razonamientos más elementales. Es consecuencia del llamado «principio cosmológico».

Imaginemos que estamos observando, en una dirección determinada, tres galaxias situadas a 10, 20 y 30 Mpc. Llamemos a estas

tres galaxias A, B y C. Imaginemos que determinamos que la velocidad de alejamiento de A es de 1 000 km/s. ¿Cuánto será la velocidad de B? Puesto que A ha de ver lo mismo que yo y para él B

EL PRINCIPIO COSMOLÓGICO

Dice el principio cosmológico, al que bien se le podría llamar «principio de Giordano Bruno», que el universo es homogéneo e isótropo. Al decir que es homogéneo, queremos decir que todos los lugares del universo son iguales, todos con la misma temperatura, todos con la misma densidad, etc., siempre que estemos considerando escalas muy grandes. Al decir que es isótropo, queremos decir que, miremos donde miremos, sea cual sea la dirección de observación, siempre observamos lo mismo, para escalas suficientemente grandes. Esto quiere decir que vivimos en un rincón cualquiera del universo porque todos sus rincones son un rincón cualquiera. Todos los observadores imaginables del universo «ven» lo mismo. Existen muchos modelos de universo, pero «casi» todos ellos parten del principio cosmológico. Se suele considerar que la escala tan grande en la cual ya se puede utilizar el principio cosmológico es de unos 300 mega-años luz. Además de un principio filosóficamente atrayente, estamos obligados a aceptarlo. Si partimos de que nuestro punto de observación del universo es excepcional, y lo que vemos es diferente a lo que vería otro hipotético observador, ¿cómo podríamos reflexionar sobre el universo como un todo? ¿Cómo podríamos hacer cosmología?



Esta rodaja a una latitud determinada muestra la distribución de galaxias en función de la coordenada de ascensión recta y tomando el desplazamiento al rojo como coordenada de alejamiento. Se observa una red de vacíos limitados por filamentos.

La estructura a gran escala del universo

El principio cosmológico solo es válido cuando se consideran grandes escalas, de unos 500 mega-años luz. A escalas algo menores hay una estructura a gran escala del universo. Los supercúmulos (cúmulos de cúmulos de galaxias) se agrupan formando una red de estructuras filamentosas que envuelven grandes vacíos.

está a 10 Mpc, la velocidad que A mide de B debe ser de 1 000 km/s. Por consiguiente, yo he de observar que la velocidad de B será 1 000 + 1 000 = 2 000 km/s. De igual forma, A dirá que C se mueve a 2 000 km/s, por lo que yo he de encontrar 3 000 km/s. Comprobamos así la ley de Hubble.

Este razonamiento de la «cuenta de la vieja» ha sido monodimensional: las galaxias estaban en la misma dirección. Pero si uno se esfuerza por «tridimensionalizar» el argumento, obtendremos sencillamente la ley de Hubble. En el anexo se detalla la demostración de la ley de Hubble para el lector familiarizado con la mecánica de fluidos elemental.

EL UNIVERSO FRACTAL

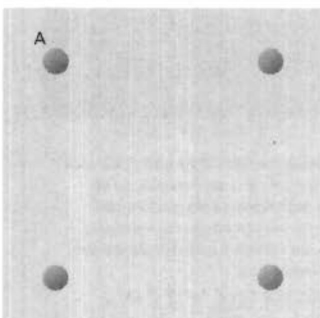


FIG. 1

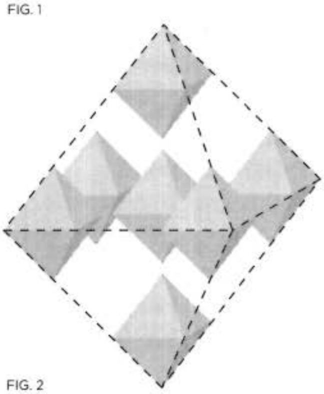


FIG. 2

En realidad, existe una posibilidad de que el universo no sea homogéneo y, sin embargo, podamos hacer cosmología: el universo fractal. Esto puede ser así si se especifica cómo varía la densidad con la escala. En las figuras 1 y 2 se muestran dos posibles configuraciones fractales para el universo. Estas posibilidades, aunque bellas, no forman parte de la cosmología ortodoxa.

En la figura 1 la materia se agrupa en torno a los vértices de un octaedro, como en A. Solo se representan cuatro vértices porque los otros dos están por encima y por debajo del papel. ¿Cómo se distribuye la materia dentro del cúmulo A? Acerquémonos a A y observaremos que la distribución es la que indica la misma figura 1. Y así indefinidamente. En la figura 2 la materia se distribuye por las aristas de un octaedro. Pero dentro de un octaedro se pueden inscribir siete pequeños octaedros. Y así indefinidamente.

CAPÍTULO 4

La homogeneidad del universo

Los físicos relativistas partían del principio cosmológico de la homogeneidad y la isotropía del universo. Pero ¿era compatible este principio con las observaciones? Hubble lo verificó con el telescopio de 100 pulgadas de Mount Wilson. Necesitaba una verificación aún más sólida con observaciones todavía más profundas. Para ello tenía ya a su disposición el entonces monstruoso telescopio de 200 pulgadas de Monte Palomar, pero un ataque al corazón le impidió llevar a cabo ese vasto propósito.

Es necesario enmarcar el trabajo de Hubble en un contexto histórico en el que los desarrollos teóricos iban ligeramente por delante de las observaciones, inspirando en ocasiones a estas y, en todo caso, recibiendo de ellas su sello de confirmación. En particular, la homogeneidad del universo, que era comúnmente aceptada por los relativistas, necesitaba la autentificación de los telescopios. Hubble se enfrentó a esta tarea en la última etapa de su vida. Lo consiguió en buena medida, aunque ni siquiera hoy podemos decir que está completamente demostrada.

LA RELATIVIDAD Y EL UNIVERSO

Los filósofos y los físicos anteriores, incluso de épocas remotas, se preguntaban si el universo era infinito o finito en el espacio y si era infinito o finito en el tiempo. Es posible encontrar corrientes filosóficas históricas en defensa de las cuatro diferentes respuestas que se pueden dar a estas dos preguntas. Casi todas eran ideas especulaciones puras porque no había una física que pudiera ser aplicada al universo completo.

Esta física llegó de la mano de Albert Einstein: la relatividad general. Arranca con su importante artículo de 1915. El universo

como un todo era una de las aplicaciones más sencillas e inmediatas de la nueva revolucionaria teoría. Un universo ideal, al menos en la mente del joven Einstein como filósofo, y la de algunos predecesores, era un universo finito en el tiempo, pero estacionario y estático, es decir, eterno, siempre igual a sí mismo y sin movimiento.

Es interesante darse cuenta de que en el universo primero de Einstein hay una aplicación rigurosa de sus propias fórmulas, pero también hay una idea preconcebida. La concepción de que el universo sea estático y eterno no se deduce de las ecuaciones. Es una preconcepción de carácter filosófico. De hecho, aunque probablemente Einstein no se preocupara por ello, estas ideas filosóficas ya fueron expuestas con toda claridad por el griego Aristóteles (384-322 a.C.). El universo de Aristóteles era también eterno y estático, y nos volvemos a topar con estas ideas frecuentemente en la historia de la filosofía.

Sin embargo, esta idea preconcebida de Aristóteles era difícil de mantener como hipótesis científica antes de la relatividad general, imposible de compatibilizar con el llamado «principio cosmológico». Este principio nos dice que el universo es homogéneo e isótropo. Es homogéneo, es decir, todos los puntos del universo son equivalentes; y es isótropo, es decir, todas las direcciones son equivalentes.

El principio cosmológico es filosóficamente muy atractivo. Vivimos en un punto cualquiera del universo porque todos sus puntos son equivalentes. Y estamos prácticamente forzados a asumir este principio porque si partimos de que nuestro lugar de observación es excepcional, mal podremos saber cómo es el universo.

Pero si todos los puntos son equivalentes, un universo finito en el espacio sería inconcebible. En él habría un centro y unos bordes y clásicamente no se puede entender que centro y bordes sean equivalentes. Un observador en el centro vería galaxias por igual en todas las direcciones; un observador en el borde vería galaxias en un hemisferio y ninguna en el otro. Clásicamente, pues, el universo del joven filósofo Einstein no tenía sentido.

Pero la relatividad general suprimía este inconveniente. Debido a que el espacio podía ser curvo, era concebible un universo

finito (en el espacio) y sin bordes. Esto es difícil de imaginar para una persona no educada en el principio de relatividad. Para facilitar la comprensión, los divulgadores recurren a un símil, también aprovechado por Hubble, que se expone a continuación.

> «El tiempo pasado es finito, el tiempo futuro es infinito.»
>
> — Edwin Hubble en su libro *The Observational Approach to Cosmology* (1937).

Imaginemos seres estrictamente bidimensionales, y no tridimensionales como nosotros. En lugar de vivir en un espacio bidimensional plano, viven en una superficie esférica, es decir, en un espacio curvo. Para ellos, la superficie esférica es todo su universo y no conciben que se pueda salir de ella ni hacia fuera ni hacia el centro de ella. Para ellos, el universo es finito, porque pueden ir a cualquier punto en un tiempo finito, y no tendría bordes, porque por mucho que anduvieran nunca se encontrarían con la línea que separa el universo de la nada. Si ahora tratamos de «tridimensionalizar» esta concepción, nos encontraremos con la que rondaba la cabeza de Einstein antes de aplicar sus propias ecuaciones a todo el universo. En su mente, si lanzáramos un rayo luminoso hacia delante, debido a la curvatura del espacio, este rayo, viajando en «línea recta», acabaría dándonos en el cogote.

Así pues, la relatividad permitía compatibilizar el principio cosmológico y la finitud espacial del universo. La relatividad permitía casar la filosofía de Aristóteles con la física.

El principio cosmológico es un bello principio. Pero... ¿es verdad? El principio cosmológico permite hacer bellas teorías, pero... ¿es compatible con las observaciones? Ahí es donde un observador como Hubble se convertía en una pieza clave. Un principio no se demuestra, pero debe ser compatible con las observaciones.

Pero mucho antes de que Hubble entrara en acción como observador al mando del 100 pulgadas, imaginemos que nos adentramos sigilosamente en el despacho de Einstein y observamos cómo trabaja. Está escribiendo fórmulas en un papel. ¿Qué fórmulas? Primera tentativa: las ecuaciones que le habían parecido más simples, las que espontáneamente había propuesto. Su primera ten-

tativa falla. Le sale que el universo... está en expansión. No puede ser, es absurdo; su universo tiene que ser estático. Modifica sus ecuaciones añadiendo un término más, el término cosmológico, Λ. Este término dotaba al universo de una facultad expansiva. Si no fuera por esta facultad expansiva, la autogravitación del mismo universo lo llevaría a la coalescencia, es decir, a colapsar y ocupar un solo punto final.

Con esta pequeña argucia, consiguió lo que quería. Con el término cosmológico, Einstein nos presentó su primer modelo de universo, estático (sin movimiento), estacionario (siempre igual a sí mismo) y finito en el espacio. Este término cosmológico sería, en un lenguaje más actual, una forma de «energía oscura», concepto que, por tanto, fue introducido por Einstein.

Casi al mismo tiempo, De Sitter encontró otra solución de las ecuaciones de Einstein, pero solo era válida para un universo con una densidad muy baja, idealmente para un universo sin materia. En este caso, la solución no era estática, por lo que no fue del agrado de Einstein. El universo de De Sitter estaba en expansión y se predecía $v = H_0 r$, lo que llevó a la airada reacción de Hubble de la que hablamos, solo aplacada por la réplica contemporizadora del sabio neerlandés.

Pasó bastante tiempo hasta que se encontró la solución de las ecuaciones de Einstein, que son esencialmente las que se admiten hoy, excepto para los tiempos muy primitivos de unas fracciones ínfimas de segundo, cuando la relatividad deja de ser aplicable. Fue encontrada independientemente por el ruso Alexander Friedman, entre 1922 y 1924, y el belga Georges Lemaître, en 1927. A pesar de que Lemaître elaboró su modelo con posterioridad a Friedman, se considera que no hubo plagio. Los artículos de Friedman no fueron conocidos por Lemaître por haberlos publicado en alemán.

Sí fueron conocidos por Einstein, que en una primera lectura los consideró inaceptables. Semejante reacción tuvo con el trabajo de Lemaître, seguramente porque contradecía su modelo estático. Pero tras las oportunos intercambios de cartas —en el caso de Friedman— o conversaciones personales —en el de Lemaître—, Einstein rectificó y aceptó la integración matemática de sus ecuaciones llevada a cabo por estos dos eminentes sabios. No

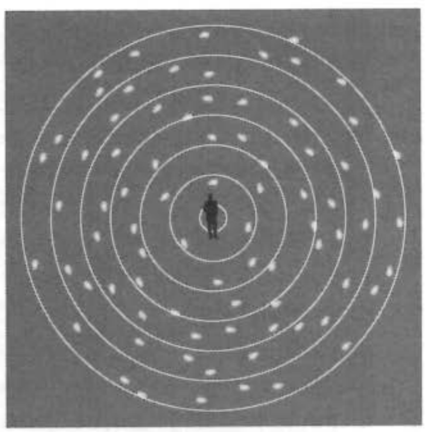
pensaba Einstein que el universo fuera como decían Friedman y Lemaître, pero admitió que se trataba de soluciones matemáticamente correctas. Esa rectificación honra a Einstein.

El universo de Friedman y Lemaître estaba en expansión, en una expansión que venía también regida (solo en la actualidad y un pequeño atisbo del pasado) por la hoy llamada «ley de Hubble», $v = H_0 r$. En realidad, esta simple relación lineal solo era parte de una ecuación más general, que ya hemos tratado:

$$\vec{v} = H(t)\vec{r},$$

donde $H(t)$ era una función del tiempo que estos modelos permitían encontrar a lo largo de toda la vida del universo. Se obtenían tres tipos de universo, todos ellos modelos de tipo *big bang* (aunque el término «*big bang*» es posterior) en los que hay un principio del universo que Friedman llamó *Erschaffung* («creación»)

LA PARADOJA DE OLBERS



En 1823, el astrónomo alemán Heinrich Wilhelm Olbers (1758-1840) formuló una paradoja que proviene de una reflexión natural que nos adentra de forma muy simple en el corazón de la cosmología. Imaginemos que las galaxias están repartidas más o menos homogéneamente por todo el universo. Dividimos el espacio que nos rodea en capas de cebolla del mismo espesor. La luz de una capa muy alejada se perderá según r^2. Pero esa capa alejada contiene más galaxias, según r^2. Se compensan ambos factores y concluimos que recibimos la misma luz de todas las galaxias. Si hubiera infinitas capas, en la Tierra deberíamos recibir una luz infinita. La forma más simple de resolver la paradoja es suponer que la luz de las galaxias muy distantes no ha tenido tiempo de llegar hasta nosotros: el universo ha tenido un principio.

LA TEORÍA DEL ESTADO ESTACIONARIO

Bastante más tarde de la formulación de la paradoja de Olbers, en 1948 surgió una teoría rival de la teoría del *big bang*; se trataba de la teoría del estado estacionario, propuesta por Fred Hoyle, Tommy Gold y Hermann Bondi. Esta teoría, hoy desechada, fue rival de la del *big bang* durante gran parte del siglo XX. El universo del estado estacionario era, como su nombre indica, estacionario, pero no estático, es decir, había movimiento, el de expansión, por entonces ya completamente establecido como un hecho observacional, pero el universo era siempre igual a sí mismo. La disminución de densidad debida a la expansión era compensada con una creación continua de materia. Hoyle acuñó el término *big bang* para ridiculizar los modelos con un principio temporal de densidad infinita, pero la palabra caricaturesca, lejos de cumplir su objetivo de ridiculizar, se convirtió en el nombre propio de la teoría de Friedman y Lemaître, aceptada más adelante por Einstein. Cuando la veracidad de las teorías del *big bang* y del estado estacionario estaba por dirimir, había quien asociaba al *big bang* la idea de un Dios creador, mientras que la del estado estacionario era la preferida por los no creyentes. Esta controversia fue muy popular, pero el agnóstico Hubble, con buen criterio probablemente, nunca quiso entrar en ella.

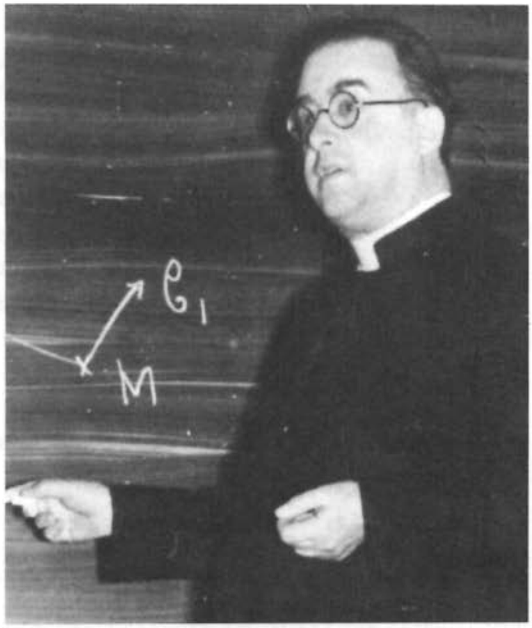


El astrofísico británico Fred Hoyle.

y Lemaître «átomo primitivo», o incluso «isótopo del neutrón» (porque llegó a imaginar que inicialmente solo había neutrones que se desintegraban dando un protón y un electrón, las partículas conocidas entonces). Estos tres tipos de universo eran:

1. El universo *cerrado*, en el cual la expansión se acaba deteniendo y se convierte en contracción, llegando a la coalescencia de todo el universo, teniendo como fin el *big crunch*, la situación contraria al *big bang*; tiene curvatura positiva.





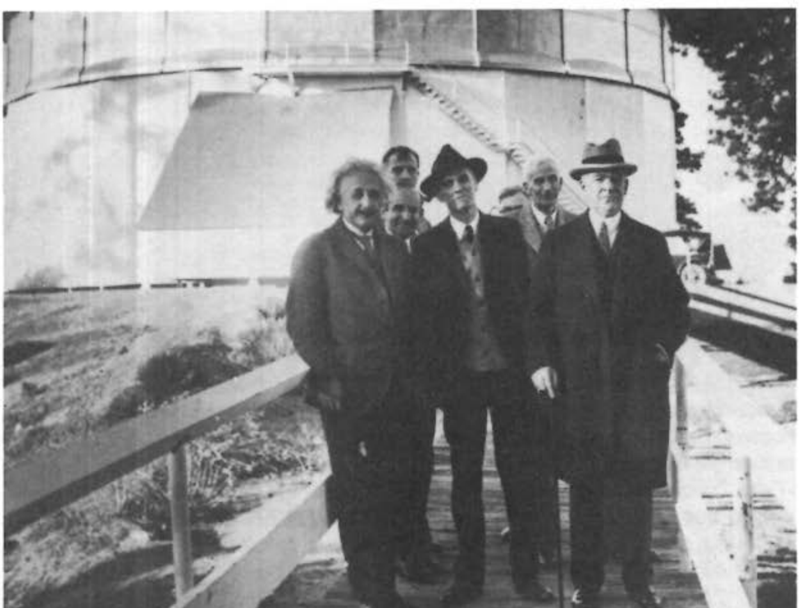


FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Willem de Sitter, uno de los más admirables cosmólogos relativistas.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
Georges Lemaître, a quien se debe una primera formulación de la teoría del *big bang*.

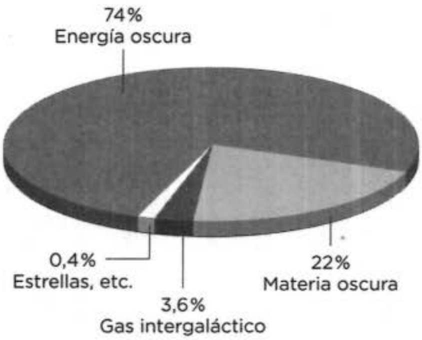
FOTO INFERIOR:
Albert Einstein en una visita a Mount Wilson en 1931. Entre este grupo de astrónomos se encuentran Einstein (primero por la izquierda), Hubble (al fondo, el segundo por la izquierda) y Walter Adams (en el centro, con sombrero).

2. El universo *abierto*, en el cual la expansión es indefinida; tiene curvatura negativa.

3. El universo *crítico* o universo de *Einstein-De Sitter* o universo *plano*; tiene curvatura nula. Es el más sencillo de los tres. En él, la expansión se detiene, pero en un tiempo infinito. La densidad es del tipo $\rho \propto t^{-2}$, aunque en un tiempo pasado con $z = 10\,000$ aproximadamente, el universo no estuvo, como hoy, dominado por materia, sino por luz, y entonces la densidad de energía irradiada era proporcional a $t^{1/2}$.

MATERIA OSCURA Y ENERGÍA OSCURA

Es bien sabido que la cosmología actual admite la existencia de una materia oscura y una energía oscura. La composición del universo admitida actualmente es la que se muestra en el gráfico:

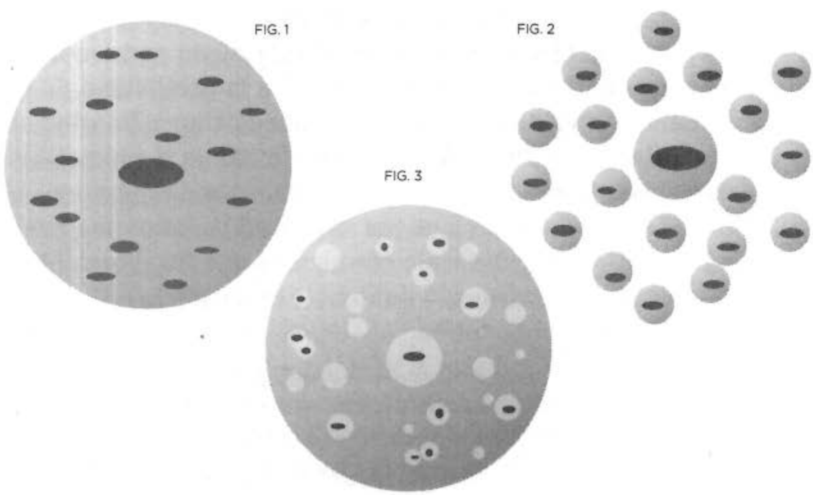


Podría pensarse que estos conceptos son muy posteriores, pero no es así. El término cosmológico, introducido por Einstein en 1915, es una de las posibilidades de la energía oscura. La materia oscura fue descubierta por el astrónomo búlgaro Fritz Zwicky en 1933. Zwicky aplicó el teorema del virial al cúmulo de Coma, con lo que dedujo que en ese cúmulo tenía que haber más materia de la que se veía, porque, de otra forma, las rápidas velocidades de las galaxias harían que el cúmulo se dispersara o fuera más grande. Se representan tres

Einstein acabó aceptando los modelos *big bang*, especialmente tras su resaltado diálogo con Hubble, aunque no le gustaba en ellos ni el término cosmológico (aun siendo él el padre de la criatura) ni el mismo *big bang*, que le parecía tener un «tufillo religioso».

El universo de De Sitter dominado por el término cosmológico es el universo que el futuro nos depara, pues la expansión produce una disminución de densidad, que provoca una disminución de la autogravedad, que va siendo cada vez menor. Al contrario, la facultad expansiva del término cosmológico es constante, por lo que acaba siendo dominante. El universo de De Sitter es el

posibles distribuciones de materia oscura en un cúmulo de galaxias. O bien hay un gran halo de materia oscura y las galaxias individuales no tienen materia oscura (figura 1), o bien cada galaxia individual tiene su propio halo oscuro (figura 2), o una mezcla: galaxia con halo oscuro dentro de un gran halo oscuro cumular (figura 3). Esta tercera posibilidad es la que hoy se considera como más plausible. ¿Galaxias con halo o halo con galaxias? La respuesta parece ser: galaxias con halo dentro de un halo con galaxias.



universo del «gran desgarrón» (*big rip*), en el cual la expansión es tanto más rápida cuanto más expandido está, lo que matemáticamente se llama «expansión exponencial».

Es curioso y resaltable que el universo de De Sitter, habiéndose presentado en fecha tan temprana, sea tan aplicable al universo, no solamente del futuro, sino del actual, puesto que ya hoy, si no dominante, la energía oscura sí es la componente más importante.

En el universo muy primitivo se dio probablemente una situación muy parecida al admitirse en la actualidad un período inflacionario en el que también se produjo una expansión exponencial. Pero el universo inflacionario es ya una hipótesis que poco tuvo que ver con la investigación de Hubble. Su iniciador, el físico y cosmólogo estadounidense Alan Guth (1947), propuso un primer modelo en 1980, mucho tiempo después de la muerte de Hubble.

EL FACTOR DE ESCALA CÓSMICO

Si el universo está en expansión, necesitamos definir una función que nos indique cómo es de grande en cada momento de su historia. Pero como no rechazamos la posibilidad de que sea infinito, hemos de hacerlo en términos relativos. Imaginemos que una galaxia está hoy a 100 Mpc. Dentro de un tiempo, debido a la expansión, podrá estar a 200 Mpc. Entonces diremos que el factor de escala cósmico es 2. A esa magnitud la denominamos con la letra a. El factor de escala cósmico es una función del tiempo y está ligada con la función de Hubble mediante:

$$\frac{1}{a(t)}\frac{da(t)}{dt}=H(t),$$

donde la condición de que $a(t_0)=1$ es parte de la definición. El factor de escala cósmico hoy, con $t=t_0$, es la unidad por definición. Uno de los objetivos básicos de la cosmología es conocer

la función $a(t)$ y vamos a ver cómo ha ido cambiando nuestra determinación de $a(t)$ según los modelos se han ido desarrollando. La historia de la cosmología como ciencia puede representarse mediante el conocimiento progresivo de la función $a(t)$. En lo que sigue, vamos a ir trazando paulatinamente cómo hemos ido conociendo el factor de escala cósmico, con gráficas que van ampliando el intervalo temporal, a modo de película. Más que gráficas en el sentido matemático, representaremos esquemas de esta «evolución de la evolución» del universo.

Comencemos por los tres modelos que podríamos llamar clásicos, correspondientes al universo dominado por la materia (como en el momento presente) y sin término cosmológico. Y empecemos por el universo crítico de Einstein-De Sitter. En él:

$$a(t) \propto t^{2/3}.$$

La expresión matemática no es tan sencilla si el universo es abierto o cerrado. En lugar de escribir la expresión matemática, que es muy larga, representamos las tres posibilidades en la figura 1 (página siguiente). En realidad, en la actualidad a es 1, por lo que sería más apropiada la figura 2, donde el tiempo $t=0$, el tiempo del *big bang*, depende del tipo de universo. En el universo de Einstein-De Sitter el tiempo entre el *big bang* y la actualidad es 2/3 del tiempo de Hubble.

El factor de escala cósmico en el caso del universo cerrado es una cicloide. Una cicloide es la curva que describe un punto de una rueda cuando esta avanza sin deslizar, tal como se representa en la figura 3. Como se puede apreciar, la función empieza siendo cero en el *big bang*, pasa por un valor máximo a partir del cual la expansión se convierte en contracción y termina en lo que se llama «*big crunch*». La rueda puede dar un número indefinido de vueltas y la cicloide se alarga hasta el infinito. Pero no sabemos si el universo será una sucesión indefinida de *big bangs* y *big crunchs*, porque es conocido que en el momento del rebote en el *big crunch* las ecuaciones relativistas no se cumplen. Y no tenemos aún formulación para describir un universo tan denso y caliente.

FIGURA 1:
Modelos clásicos de Friedman.

FIGURA 2:
Esta figura es la misma que la anterior, pero se presenta de forma que el tiempo cero depende del modelo. Se representa con un punto el modelo primitivo de Einstein en el que no había variación temporal.

FIG. 1

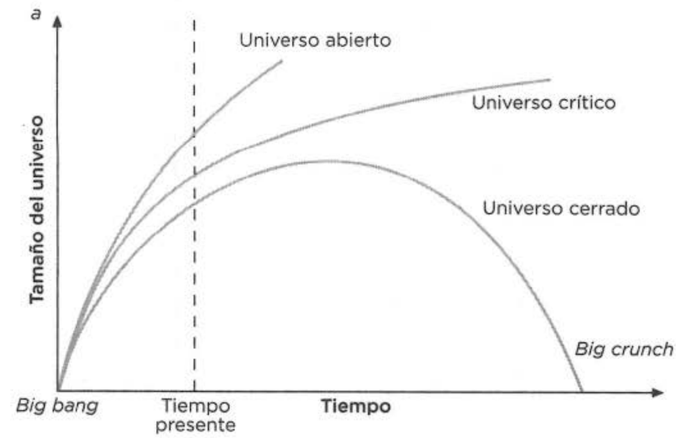
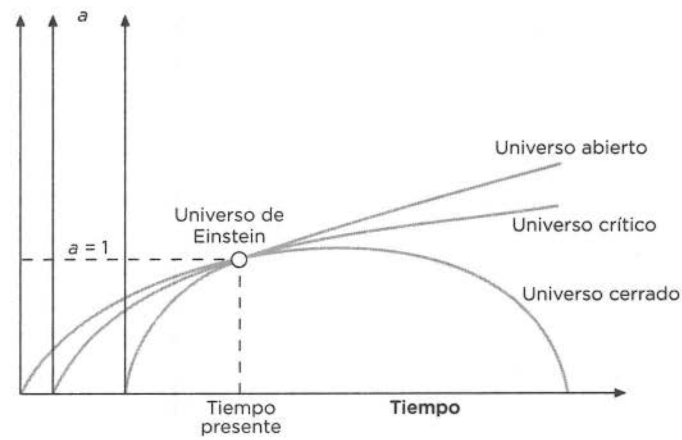


FIG. 2



Pero el universo no siempre ha estado dominado por la materia. Sin querer abordar en detalle el interesante problema de la historia del universo, y cómo su naturaleza dominante ha ido variando a lo largo de su existencia, hoy está fuera de toda duda que antes de $a = 10^{-4}$, aproximadamente, el universo estuvo dominado

FIG. 3

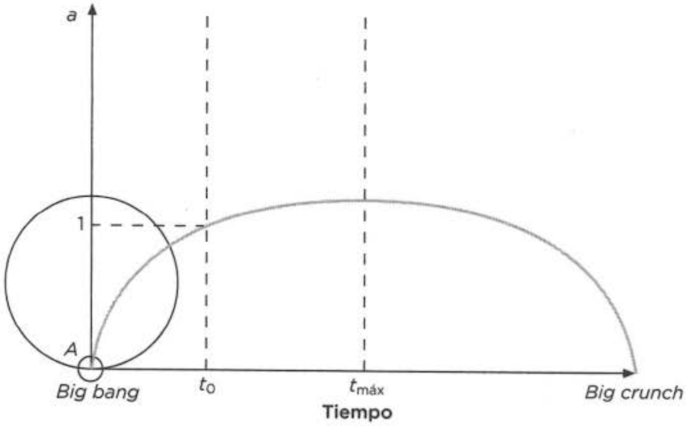


FIG. 4

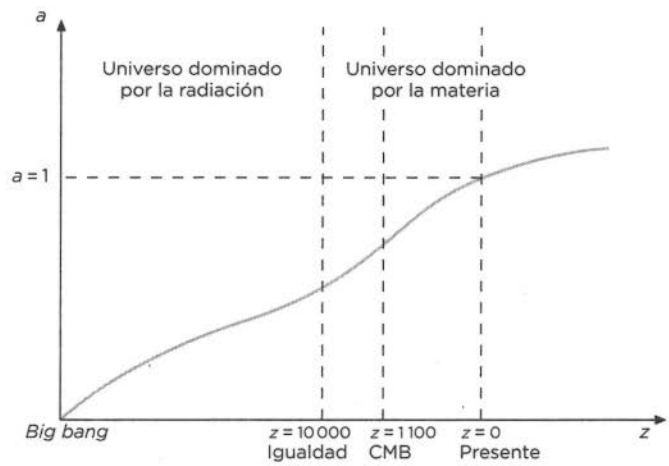


FIGURA 3: **El universo cerrado de Friedman se describe con una curva llamada «cicloide». Es la curva que describe el punto *A* situado en la circunferencia de una rueda que avanza rodando sin deslizar.**

FIGURA 4: **Universo dominado por radiación y dominado por materia. Solo se representa el universo crítico sin curvatura. Se indica la posición correspondiente al Fondo Cósmico de Microondas (CMB) porque es accesible a la observación.**

por la radiación. Era un universo luminoso, en el sentido de que la densidad de energía de la radiación era mayor que la densidad de energía en reposo de las partículas materiales. En esa era del universo era $a \propto t^{-1/2}$ y ya podemos trazar la curva de $a(t)$ en un rango temporal mayor (figura 4).

Pero el universo del futuro no estará dominado ni por la materia ni por la radiación, sino por el término cosmológico Λ o, de forma más general, por la energía oscura. En ese caso, en esta era

FIGURA 5:
Universo crítico dominado por radiación, materia y energía oscura.

FIGURA 6:
Universo crítico con las fases de inflación, radiación, materia y energía oscura.

FIG. 5

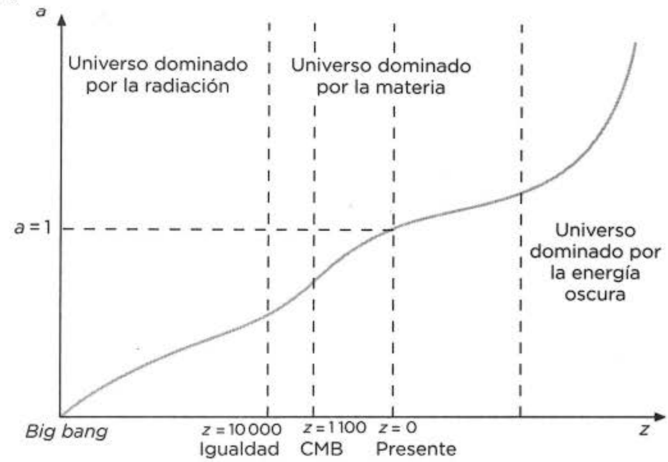
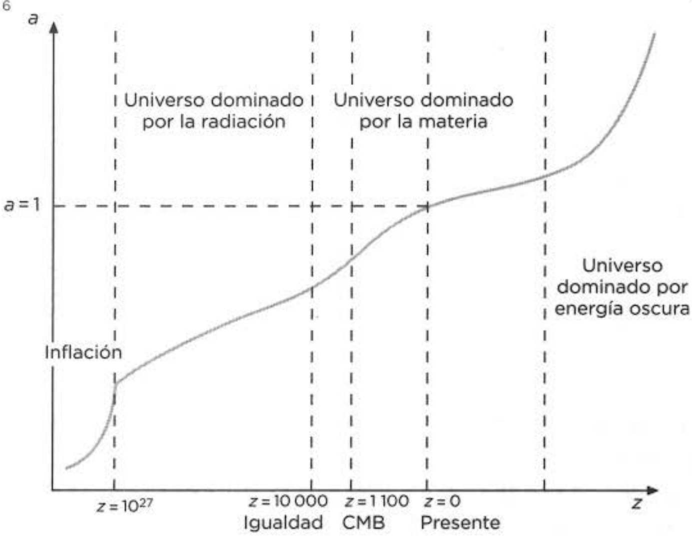


FIG. 6



futura del universo, este se comportará como el universo de De Sitter. Curiosamente, el primer universo que se publicó corresponde al universo del futuro. En él:

$$a(t) \propto e^{Kt},$$

con lo que vamos paulatinamente reconstruyendo la evolución del universo (figura 5). ¿Cuándo llegará ese futuro de De Sitter? Se puede decir que ya está empezando.

No se va a entrar a analizar la era de la inflación, por corresponder a modelos muy posteriores a la vida de Hubble, pero por completitud, digamos que en una era muy primitiva también la expansión pudo describirse con una función exponencial como en la fórmula anterior. Con todo ello, ya podemos trazar la historia de la expansión del universo, representada en la figura 6.

Se trata de una figura realmente complicada, con frecuentes cambios cualitativos, y es un buen resumen de tanta investigación correspondiente a todo un siglo.

También podemos trazar una gráfica de la función $H(t)$. En la figura 7 (página siguiente) se aprecia que Hubble pudo observar solamente en un pequeño rango temporal, casi el único accesible a la observación. En realidad, tenemos otro pequeño rango cuando z era del orden de 1 100 aproximadamente, cuando se emitió el Fondo Cósmico de Microondas (CMB), pero esto es algo que también se sale de la biografía de Hubble.

Además de la función $a(t)$ nos interesa saber cómo varía la densidad del universo. Lo representamos solamente para el universo crítico de Einstein-De Sitter, ya que es el que parece ajustarse mejor a los datos (y las actuales teorías de la inflación para tiempos muy primitivos lo justifican). En la figura 8 se representa la densidad en función del tiempo en el universo crítico, en realidad $\rho(t) \propto t^{-2}$, y la correspondiente a la época de la energía oscura.

También por completitud, sin pretender una comprensión real por salirnos de la biografía que nos ocupa, nos puede interesar cómo ha ido variando la temperatura del universo. En la figura 9 se representa $T(t)$. Aproximadamente para $z < 10^{-10}$, el universo contenía principalmente neutrinos, electrones, positrones y fotones. La materia ordinaria (bariones, como son los protones y los

FIGURA 7: **Historia de la función de Hubble en el universo crítico de Einstein-De Sitter y en el de De Sitter. t_0 es el tiempo presente.**

FIGURA 8: **Esquema de la variación de densidad.**

FIG. 7

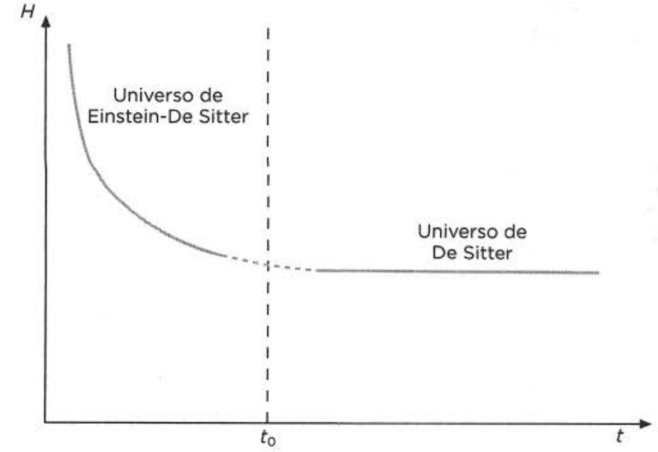
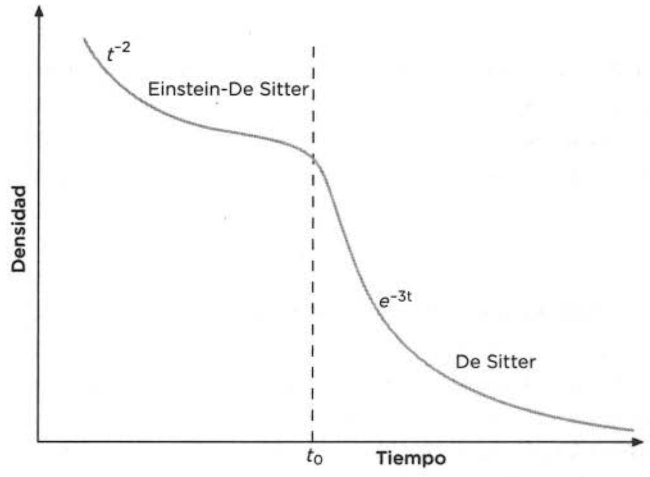


FIG. 8



neutrones) y la materia oscura estaban presentes, pero en menores cantidades. Todas las partículas estaban en equilibrio térmico. Entonces, los neutrinos se desacoplaron. Luego los positrones y los electrones se aniquilaron mutuamente, produciendo un aumento

FIG. 9

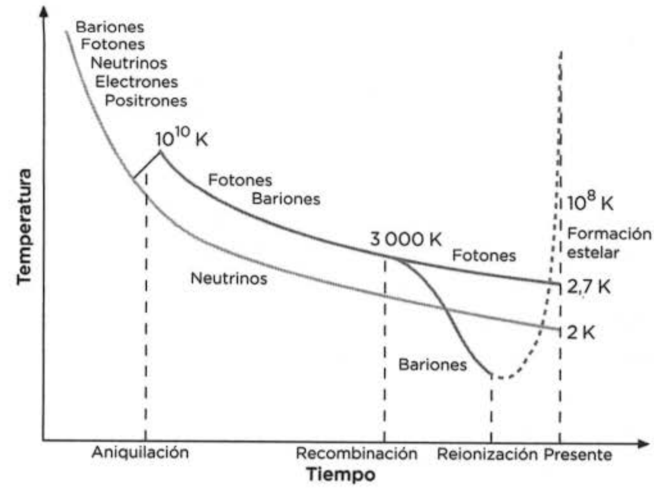


FIGURA 9: **Variación de la temperatura. Las temperaturas de fotones, bariones y neutrinos han experimentado una historia diferente.**

de la temperatura de los fotones y de la materia. Más adelante, se desacoplaron los fotones. La temperatura de los bariones aumentó extraordinariamente cuando se formaron las primeras estrellas, en una época muy reciente del universo, llamada de «reionización».

LA DISTRIBUCIÓN DE LAS «NÉBULAS»

En el año 1932, Hubble se propuso estudiar seriamente la distribución de las nébulas en el espacio. Para ello contaba no solo con tiempo de observación en los telescopios de 60 y 100 pulgadas, sino con el de 36 pulgadas del observatorio Lick en Mount Hamilton, donde había un estudiante, Nick Mayal, a quien Hubble convenció para que abordara este problema básico de la cosmología: ¿Es homogénea la distribución de las nébulas? ¿Es isótropa?

Al decir «distribución homogénea» queremos decir que la densidad de galaxias es la misma en cualquier punto del universo; todos los puntos del espacio del universo son equivalentes. Al

decir «distribución isótropa» queremos decir que la densidad de galaxias es la misma en cualquier dirección que observemos; todas las direcciones son equivalentes. Aparentemente son conceptos iguales, pero en realidad, se puede demostrar, incluso con argumentos naturales, que la isotropía implica homogeneidad, pero no al revés. La homogeneidad no implica isotropía.

¿Es la densidad de galaxias igual en todos los puntos del universo? El problema es enorme. Hemos de tomar elementos de volumen muy grandes como para contener un número estadísticamente grande de galaxias, y luego contar las galaxias que hay en él. La gran dificultad reside en que, especialmente entonces, las distancias no se conocían en absoluto con certeza, de forma particular para aquellas galaxias en las que el método de las cefeidas ya no era aplicable. En realidad, conocer si el universo es homogéneo requiere mucho esfuerzo observacional, pero no tanto como en principio parece. Podemos investigar la distribución estadística de los flujos de las nébulas observados aquí en la Tierra. La función de distribución estadística es una función muy particular si el universo es homogéneo. (Puede demostrarse que el número de galaxias con una cierta magnitud m es proporcional a $10^{0,6}\,m$ en el caso de la homogeneidad.)

Este tipo de problemas es de gran importancia porque si podemos estimar la masa de las galaxias —con el error que sea—, estaremos calculando la densidad del universo. Aún hoy es un problema arduo, pero es de la mayor trascendencia cosmológica. El universo tendrá un comportamiento u otro según sea su densidad. ¿Cuál es la densidad del universo en nuestro entorno? ¿La densidad en cualquier otro punto es la misma que aquí?

Además, hay que recordar el problema del oscurecimiento debido al polvo interestelar que nos impide ver las galaxias situadas angularmente cerca del plano de simetría de la Vía Láctea. Había que hacer la estimación en zonas próximas al polo norte galáctico (en el polo sur galáctico no se podía observar bien por ser accesible a los telescopios en el hemisferio sur, más escasos y reducidos).

A las dificultades de tipo observacional se sumaron las sociales. Fue época de gran desmoronamiento de la economía de Estados Unidos y Mayal tenía serias dificultades para renovar su

beca o su precario contrato de trabajo. Pero Mayal tenía la vocación de convertirse en el «Hubble del hemisferio sur» si algún día se decidía instalar allí un gran telescopio. Y, a trancas y barrancas, siguió observando. Su relación con Hubble fue buena, por tratarse de un estudiante admirador de un maestro que vivía lejos. Y la relación entre Mayal y Humason fue de entendimiento y amistad.

En 1934 salió un primer trabajo: «La distribución de las nébulas extra-galácticas». La carga de trabajo de observación fue inmensa, especialmente en las espaldas de Humason y Mayal. Tras descartar las dudosas, Hubble basó su estimación en nada menos que 44 000 galaxias. La gran conclusión ya se ponía de manifiesto con esta muestra estadística: a la mayor escala observable a la humanidad, el universo es verdaderamente homogéneo. Sorprendente conclusión que merece toda nuestra admiración. Probablemente, estaba influido por la filosofía antigua y por los cálculos de los relativistas. Probablemente, Hubble así ya lo creía antes de comenzar esta investigación. Probablemente, tenía prejuicios. Pero en ese momento no eran simples conjeturas ni cálculos imaginativos. Por aquel entonces, la conclusión se basaba en los datos.

Ahora bien, si la densidad era la misma en todos los puntos del universo, ¿cuál era ese valor común de la densidad? Dada la dificultad de la interpretación de las datos, este cálculo nos vuelve a inundar de admiración. Hubble lo expresó de una forma muy divulgativa: «un gramo en un volumen de mil veces el volumen de la Tierra». El volumen de la Tierra es de unos 10^{27} cm^3. La densidad calculada por Hubble era entonces, aproximadamente, 10^{-30} gr/cm^{-3}. Este valor es sorprendentemente similar al aceptado actualmente para la masa visible del universo crítico.

EINSTEIN Y HUBBLE

Albert Einstein decidió hacer una visita de dos meses a Pasadena, con objeto de conocer directamente lo que se estaba obteniendo en Mount Wilson y en Caltech. Iba acompañado de su segunda esposa, Elsa Einstein, quien planificaba la agenda y protegía a su

marido de los miles de curiosos que se acercaban a ver al «hombre más listo del mundo». Tenía entonces Einstein cincuenta y un años; Hubble, cuarenta y dos.

Cuando llegó a Pasadena, en 1931, Einstein era ya un ídolo popular sin precedentes en el mundo de la ciencia. Cada vez que decía cualquier cosa, al día siguiente era primera portada en los periódicos de todo el mundo y era constantemente agasajado por instituciones científicas y culturales que consideraban su presencia como un acontecimiento inolvidable. En realidad, él disfrutaba con esta popularidad. Además de uno de los más grandes científicos de todos los tiempos, era muy ingenioso, improvisando máximas y chistes para cada situación. Claro que tanta popularidad no podía aguantarse a todas las horas del día y Elsa era quien planeaba la distribución del tiempo entre baños de multitud, invitaciones, discursos e intimidad, por supuesto atendiendo a las preferencias de su marido. Para entender que había que defenderse de la muchedumbre curiosa, basta recordar que el camarote de los Einstein estaba permanentemente custodiado por un guardián en la puerta.

Con su aspecto peculiar, melena ondeante y bigote inculto, el hombre que había transformado completamente los pilares de la física, sin más instrumento que su cabeza, era ciertamente la estrella de las reuniones tanto científicas como populares y el objetivo de insaciables fotógrafos y periodistas.

Era el hombre inefable que nos había enseñado que el espacio y el tiempo dependen del observador, que la energía y la masa eran lo mismo, que nada podía viajar más rápido que la luz, que el espacio era curvo, que había desplazado el concepto de fuerza gravitatoria a un capítulo de pura geometría. Y era el hombre que había explicado el avance del perihelio de Mercurio, predicho la deflexión de la luz de una estrella al pasar cerca del Sol, predicho el desplazamiento al rojo de la luz emitida en el seno de un campo gravitatorio y sentado las bases para entender el universo.

Einstein y la cosmología teórica y Hubble y la cosmología observacional iban a encontrarse. ¿Cuál sería el previsible resultado de sus conversaciones? Cualquiera podría haber predicho que serían un formidable desastre. Hubble, un militar que hacía observaciones astronómicas vestido como quien iba a la guerra,

que manejaba el telescopio a toque de corneta, que entendía la disciplina castrense, frente al más irónico de los antimilitaristas. Había dicho Einstein:

> Aquel que alegremente marcha al son de la música en fila y en columna se gana mi desprecio. Le ha sido dado un gran cerebro por equivocación, puesto que para él, con una espina dorsal hubiera sido suficiente.

¿Cómo un hombre que aborrecía así el espíritu militar podía congeniar con el mayor Hubble? Es cierto que cuando así hablaba se refería a la milicia nazi. Pero el uno antimilitarista, el otro participante voluntario en ambas guerras; el uno descuidado con su atuendo y su persona, el otro que se hacía vestir por un sastre inglés... En fin, con tantas diferencias de personalidad, ¿cómo se iban a entender?

Además, Hubble no solo era alto sino también altivo, se estiraba, estaba orgulloso de su altura; hablaba una lengua que Einstein no entendía y tenían que entenderse mediante un intérprete.

Pero había un inconveniente añadido de índole científica aún más grave que separaba a los dos genios como una inmensa muralla intelectual: el universo que había concebido Einstein era estático, mientras que el que había observado Hubble era dinámico.

Todos los ingredientes podían hacer augurar un estruendoso desencuentro. Pero los grandes científicos están por encima de sus propias manías y de sus propios instintos y no solo se entendieron en el fondo, sino que esa visita resultó decisiva en la historia de la ciencia.

Subieron al observatorio en coche. En la parte trasera, Einstein iba en el centro, Hubble a su derecha, Adams a su izquierda. Visitaron el telescopio solar —que se había utilizado para comprobar la teoría de la relatividad— y el telescopio de 100 pulgadas. Einstein nunca había visto nada tan descomunal. Se interesó vivamente por todos los detalles y quiso ascender por las escaleras de mano que conducían a las diferentes plataformas y se fotografió con Hubble y otros en el «camino de gatos» que rodea la base de la cúpula por la parte externa para labores de mantenimiento,

EINSTEIN OBSERVA UNA ENANA BLANCA


Albert Einstein en 1931.

Einstein fue invitado a observar, además de los objetos del cielo más atractivos y mostrados al público, el sistema binario de estrellas Sirio A y Sirio B. Sirio A es una gigante roja y Sirio B una enana blanca. Las enanas blancas tienen una masa comparable a la del Sol y un tamaño comparable al de la Tierra. Einstein predijo que, en una estrella como Sirio B, una raya espectral debería estar desplazada hacia el rojo por un efecto gravitatorio. Una forma de explicarlo de una forma sencilla es que la luz, para salir de la estrella, tiene que vencer una energía gravitatoria potencial. Un fotón no puede perder energía más que disminuyendo su frecuencia, según la ecuación de la física cuántica $E=h\nu$, lo que supone un desplazamiento al rojo. Hay que advertir, sin embargo, que la teoría de la relatividad se había desarrollado completamente al margen de la física cuántica, por lo que Einstein no había hecho su predicción basada en este argumento. Pero, si la enana blanca no forma parte de un sistema binario, no se puede saber si el enrojecimiento se debe al efecto Doppler por alejamiento del sistema binario. Esta predicción de Einstein se había comprobado antes con otra enana blanca, pero con el 100 pulgadas y Sirio B se había realizado la comprobación más precisa.

mientras Adams se llevaba las manos a la cabeza temiendo un accidente del sabio.

Comentando ya en la base de Mount Wilson en Pasadena, alguien dijo a Frau Einstein que el telescopio de 100 pulgadas era esencial para determinar la estructura del universo. Ella respondió: «Bueno, bueno... eso lo hace mi marido en el reverso de un sobre viejo».

Edwin y Grace Hubble invitaron a Albert y Elsa Einstein a cenar, junto con la estrella cinematográfica Doris Kenyon, quien

se entendió muy bien con Elsa. Como consecuencia, más tarde la rubia y hermosa actriz congenió con el sabio físico y su esposa, más que con cualquier otro científico, e incluso Albert le regaló un libro dedicado con un pequeño poema.

El paciente Einstein tenía que trabajar en un despacho en el que había permanentemente una escultora que le estaba haciendo un busto. Otra anécdota que se cuenta es que, habiendo un funcionario expresamente dispuesto a resolver cualquier problema que a Einstein se le presentara, a cualquier hora, este le llamó por teléfono. De inmediato, el funcionario acudió velozmente a la casa para ayudar en lo que fuera. Al verle, Einstein le dijo: «¿Ha venido usted? Yo solo quería preguntarle cómo demonios se utiliza este abrelatas».

Pero lo resaltable desde el punto de vista científico es que al final de la visita Einstein sorprendió con una revelación decisiva. Reconocía que su concepto del universo no era válido, que la estructura no era estática como él había propuesto, tal como habían demostrado el astrónomo Edwin Hubble en Mount Wilson, con las observaciones de los desplazamientos al rojo de las galaxias, y el físico Richard Tolman de Caltech, quien con la relatividad, había corroborado los resultados obtenidos por Lemaître,

En posteriores viajes de Einstein a Pasadena, Grace fue frecuentemente la anfitriona, solicitada como tal por Robert Millikan, llevándole a las conferencias o a los lugares donde tenía que desplazarse. El problema era el idioma, pues Einstein nunca llegó a hablar inglés aceptablemente y Grace no sabía alemán. El francés de ambos era insuficiente. Cierto día, Einstein llegó a hacer un cumplido a Grace, seguramente sincero aunque en inglés torpe e internacionalizado: «Your husband's work is beautiful and he has a beautiful spirit» («El trabajo de su marido es excelente y él tiene un espíritu excelente». Pronunciado por Einstein, sonaría algo así, con acento alemán: «Yuorr jasbans güerrk is biutiful an ji jes a biutiful spirrrit».

A partir de las declaraciones de Einstein a favor del universo de Lemaître y de Hubble, la vida de Edwin y Grace cambió profundamente. Hubble pasó de ser no solo popular entre los físicos, sino también para toda la gente, casi tanto como el propio

EL ENCUENTRO ENTRE MICHELSON Y EINSTEIN

Einstein tuvo varios encuentros interesantes en Pasadena. Uno de ellos fue con Albert Michelson (1852-1931), premio Nobel de Física en 1907. Se pensaba —y hoy se sigue pensando— que el experimento de Michelson, llevado a cabo junto con su colega Morley, había sido el punto de arranque, inspirador experimental, de la relatividad. Michelson enseñó a Einstein el dispositivo con el que había demostrado que la velocidad de la luz era una constante, que no dependía de la velocidad del emisor, que el éter, el medio por el que se propagaban las ondas electromagnéticas, era un concepto inútil. No hay registro de que en la conversación que mantuvieron, Einstein le dijera que en realidad su experimento no había inspirado su teoría de la relatividad, sencillamente porque cuando la formuló, ni se había enterado de la existencia de tal experimento. Más bien, el experimento corroboraba en el laboratorio los postulados relativistas. De nuevo, la teoría se había adelantado al experimento.

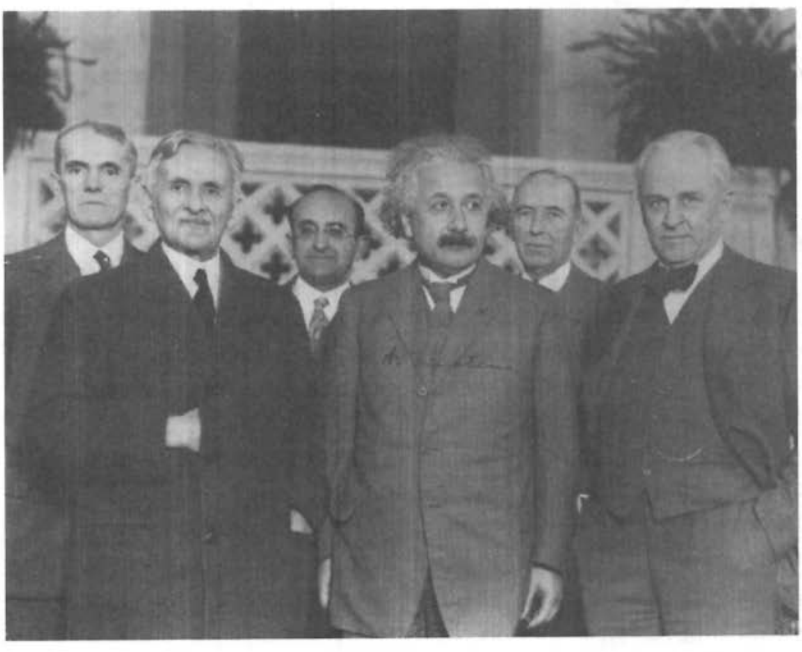


Foto de grupo de varios físicos en Mount Wilson en 1931. De izquierda a derecha: Walter Adams, Albert Michelson, Walter Meyer (asistente de Einstein), Einstein, Max Farrand (de la Huntington Library) y Robert Andrews Millikan.

Einstein. Estados Unidos adoptó como héroe de la ciencia a aquel astrónomo que había sido capaz de demostrar al mismo Einstein que se había equivocado.

Desde entonces, como ya se ha tratado, los Hubble llevaron una vida social muy intensa, bañada en popularidad, agasajos y honores de todo tipo. Como Einstein, eran requeridos en los más aristocráticos salones; quizá con la diferencia de que Einstein era invitado como un extraño ser, ocurrente y extravagante, digno de ser observado y admirado, mientras que Hubble y su esposa eran además «como ellos», con un comportamiento exquisito presentable en la más alta sociedad.

Y si Hubble era el nuevo héroe de Estados Unidos, Mount Wilson se convirtió en un verdadero centro de peregrinación. Los domingos podía recibir hasta 4000 visitantes, hubo que edificar un hotel y restringir el tiempo de visita. Los astrónomos profesionales y los becarios hacían turnos con explicaciones divulgativas a los visitantes. Todo esto acrecentaba las arcas de Mount Wilson, pero empezaba a ser un engorro para la observación astronómica.

LOS HONORES

Especialmente tras el reconocimiento de Einstein, Hubble recibió muchos honores. Sin embargo, se resistió el más codiciado, el premio Nobel. La razón es que cuando estaba vivo, la Academia Sueca no consideraba que la astronomía fuera una parte de la física. Esta consideración cambió y, de hecho, los astrónomos han sido galardonados después en muy frecuentes ocasiones. Cuando se aceptó incluir la astronomía como parte de la física, por iniciativa de Subrahmanyan Chandrasekhar, y con el voto unánime de toda la comisión encargada de proponer al nuevo laureado, se propuso a Hubble.

Para conseguir el premio, los Hubble contrataron a un agente de publicidad, quien se debía encargar de la imagen pública de Hubble en la prensa y en la radio. El agente cumplió su misión con todo tipo de titulares con apariencia rimbombante. Así, por

ejemplo, llegó a popularizar frases como «*Trouble, trouble, toil and Hubble*» («Problemas, problemas, trabajo y Hubble»), «Peregrinaje a la eternidad»... etc. Pero fue el año que murió Hubble, y la Academia Sueca siempre tuvo como norma no conceder el premio a título póstumo.

Cuando el presidente del prestigioso Carnegie Institute of Technology en Pittsburg enfermó seriamente, le ofrecieron a Hubble que fuera su sustituto. Corría el año 1934, cuando con cuarenta y cinco años Hubble estaba en un período muy creativo, a pesar de sus múltiples viajes y una intensa vida social, así que contestó disculpándose y agradeciendo la distinción. Le ofrecieron también cátedras con sueldos sustantivamente más elevados que los 6 000 dólares anuales que recibía en Mount Wilson, pero él no tenía problemas económicos y sabía que su fuerte como investigador se basaba en dos compañeros: uno era Milton Humason; el otro, el telescopio de 200 pulgadas de Monte Palomar.

Uno de los honores que más apreció el anglófilo Hubble fue recibir el grado honorario de doctor en ciencias por la Universidad de Oxford en 1934. Para adquirir el título de doctor honoris causa se sometió con gusto a los antiquísimos protocolos y la peculiar vestimenta universitaria y en la conferencia prescriptiva disertó sobre «Red Shifts in the Spectra of Nebulae» («Desplazamientos al rojo en los espectros de las nébulas»). Hubble era excelente como conferenciante y fue ganando en teatralidad a lo largo de los años. Para recibir el ansiado título, los Hubble se desplazaron de nuevo a Europa y, como en otras ocasiones, aprovecharon para hacer turismo, esta vez por Francia, Alemania y Bélgica. Y, nuevamente, el celoso Adams anotaba rabioso en su libreta lo que él pensaba de los muchos días que empleaba el presumido astrónomo de Mount Wilson en divertirse, sin trabajar y cobrando un espléndido sueldo.

En 1935, Hubble fue invitado para impartir ocho memorables conferencias organizadas por la Silliman Memorial Fund. El prestigio de estas conferencias venía avalado por los grandes científicos que le precedieron, entre ellos, el británico J.J. Thomson (1856-1940), el neozelandés Ernest Rutherford (1871-1937) y el danés Niels Bohr (1885-1962).

En 1938 recibió la Bruce Gold Medal de la Astronomical Society of the Pacific, premio que con anterioridad había sido concedido a científicos tales como el británico Arthur Eddington (1882-1944), el francés Henri Poincaré (1854-1912), y los estadounidenses George Ellery Hale (1868-1938) y Walter Adams (1876-1956), y que constituía la máxima distinción en el campo de la astronomía.

Por entonces, él y Humason habían alcanzado «velocidades aparentes» de un décimo de la velocidad de la luz. La fama del inglés de Missouri iba en aumento, casualmente según lo hacía paralelamente la de su amigo Huxley.

EL TELESCOPIO DE 200 PULGADAS

El éxito de Hubble se debía en muy buena parte a la utilización del gran telescopio de 100 pulgadas (2,54 m), con el que habían podido estudiar galaxias lejanísimas. La tentación era la construcción de un telescopio mucho mayor, de 200 pulgadas (5,08 m). Este era el sueño imposible de George Ellery Hale, el primer director de Mount Wilson. Incluso llegó a imaginar uno de 300 pulgadas, pero si el primero era ya impensable, mucho más lo hubiera sido el segundo, inadmisible incluso a nivel de sueño.

Pero Hale, además de soñador, era realista. Era consciente del reto tecnológico y económico que tenía que afrontar. El diseñador y el gran maestro de obras de la catedral de la ciencia del siglo XX sería el genial Francis Pease (1881-1938), quien ya formaba parte como ingeniero del personal de Mount Wilson. Quizá pensó que su director, Hale, se había vuelto loco, pero se puso a dibujar. Y el loco fue él. Solo pensar en la cúpula, los datos brincaban: tenía que albergar un volumen ocho veces mayor que el anterior de 100 pulgadas. Pease estimó que algo así podría costar unos seis millones de dólares (de los de entonces), aunque era muy difícil de precisar, pues serían necesarios nuevos materiales aún por concebir.

Hale tenía que buscar ese dinero. Para ello, tenía un arrollador poder de convicción. Hacía falta no solo el dinero, sino ade-

más decidir qué institución se haría cargo, dónde se ubicaría y quién sería el director, persona clave ya en el proceso de construcción. Tras algunas conversaciones con los millonarios filantrópicos mecenas, finalmente la Fundación Rockefeller se haría cargo, la sociedad científica responsable sería la Institución Carnegie de Washington, como el observatorio de Mount Wilson.

La elección del mejor sitio para el mayor telescopio era una operación de la máxima importancia. Tras una búsqueda cuidadosa y rigurosa que duró cinco años, la elección recayó en el monte Palomar. Su cima estaba a 1859 m, y se encontraba relativamente cerca de Pasadena, pero bien alejado de ciudades que aportaran contaminación lumínica. El observatorio sería, en principio, independiente del de Mount Wilson y se llamaría «Monte Palomar».

«Equipado con sus cinco sentidos, el hombre explora el universo a su alrededor y a esto lo llama la aventura de la ciencia.»

— Palabras de Hubble citadas en *The Nature of Science, and Other Lectures* (1954).

La elección del director era también decisiva. En principio, los dedos señalaban en la dirección de Hubble, el más prestigioso de los astrónomos de Mount Wilson, y era él quien sabría qué hacer en el futuro con tanta luz como recogería aquella monstruosa máquina. Pero en la Institución Carnegie empezaron a deslizarse rumores sobre su carácter aristocrático y sobre las disputas con Van Maanen, Lundmark, Shapley y tantos otros. Ante la sorpresa de Humason y Mayal se encomendó la dirección a un físico de la Carnegie, Max Mason, un apellido bien apropiado para un constructor de catedrales.

Las innovaciones técnicas, los desafíos tecnológicos, los nuevos materiales, la montura gigantesca, incluso el transporte del descomunal y delicado espejo constituyeron retos insospechados que fueron salvándose gracias al ímpetu de Hale y al genio de Pease. Paradójicamente, la empresa pudo llevarse a cabo por estar sumido Estados Unidos en una gran depresión económica, que había dejado en paro a técnicos muy cualificados que trabajaron por salarios menores a los que estaban acostumbrados y merecían.







FOTO SUPERIOR IZQUIERDA:
Edwin Hubble en el interior del telescopio de 200 pulgadas de Monte Palomar, el 2 de febrero de 1950.

FOTO SUPERIOR DERECHA:
El astrónomo búlgaro Fritz Zwicky, quien se incorporó a Caltech en 1925.

FOTO INFERIOR:
El telescopio espacial Hubble, denominado así en honor a Edwin Powell Hubble, fue puesto en órbita el 24 de abril de 1990.

Los nombres de Hale y Pease no figuran con grandes letras en la historia de la astronomía, pero personajes así son absolutamente necesarios. Ellos no hicieron astronomía, pero facilitaron que muchos otros pudieran hacerla. El Monte Palomar ha sido una fuente de datos imprescindible para los astrónomos hasta el último cambio de siglo. La colección de placas de Monte Palomar estaba, hasta hace poco, en todas las bibliotecas de los principales observatorios del mundo. Pero llegó la Segunda Guerra Mundial y las obras se paralizaron. El telescopio no estuvo disponible para la observación hasta mucho después, en 1947. Hubble utilizó el 200 pulgadas, desde luego, pero estando ya en una época de menor producción científica y con problemas de salud. Puede decirse que sus mayores éxitos fueron fruto del 100 pulgadas. Edwin no pudo desvelar los secretos del cosmos con el nuevo coloso.

La gran hazaña: Hale lo pensó, Pease lo hizo, Hubble lo usaría. Pero el último lo usó poco y los dos primeros murieron antes de que la gran pupila se abriera al firmamento, concretamente, ambos en 1938.

La gran ventaja del telescopio de 200 pulgadas era que recogía más fotones y con más fotones se podían registrar galaxias (u otros objetos) que no era posible observar con uno más pequeño, y, además, con muchos fotones se podía descomponer la luz en sus diferentes frecuencias para obtener su espectro con mayor resolución. Pero tenía un grave inconveniente: su campo de visión era limitado. Una burda comparación podría ser la de encontrar una aguja en un pajar, lo que es siempre difícil, pero mucho más difícil es encontrar una aguja en un pajar con una lupa. Si se encontraba una nébula se la podía estudiar mejor que nunca, pero si se apuntaba en una dirección arbitraria, era probable que allí no se encontrara ninguna nébula.

Hacía falta un telescopio complementario con gran campo, aunque fuera más pequeño. El telescopio pequeño podría detectar nébulas con mayor facilidad. Una vez encontradas, las nébulas podrían estudiarse con más detalle con el 200 pulgadas. Pero los telescopios de gran campo tropezaban con una distorsión de la imagen denominada «aberración cromática». La solución vino por parte de un humilde óptico estonio, Bernhard Schmidt (1879-

1935), quien, a modo de juguete envió un prototipo a un modesto observatorio en Hamburgo. Simplemente, una lente correctora evitaba la aberración esférica. En honor a su modesto creador, este tipo de telescopios se denomina «Schmidt».

Naturalmente, siempre hay alguien que se opone a las grandes ideas. En este caso, fue el mismo Shapley quien intrigó para que el proyecto de Monte Palomar no se llevara a cabo. Los motivos personales se disfrazaron, una vez más, de argumentos generales, y en este caso, de argumentos silenciosos y destructivos como torpedos.

La inauguración oficial del 200 pulgadas tuvo lugar en junio de 1948, a la cual asistieron unos ochocientos invitados, entre ellos varios premios Nobel y diversos personajes de la política, la cultura y la difusión. Se descubrió un busto de George Hale y se bautizó el nuevo «ojo del cielo» con el nombre de «telescopio Hale». Sin embargo, el telescopio no entró en funcionamiento por diversos problemas técnicos que alegraron el rostro de Shapley. Aunque Hubble ya utilizó el Hale en período de pruebas, siendo la nebulosa NGC 2261 la agraciada en ser fotografiada, se puede decir que la observación regular comenzó en abril de 1949.

RECALIBRACIÓN DE LA LEY DE HUBBLE

Durante la Segunda Guerra Mundial, el trabajo en Mount Wilson se interrumpió. Por una parte había amenazas de que los aviones japoneses atacaran la Costa Oeste y, aunque Mount Wilson no tenía por qué ser un objetivo de las bombas, no era descartable que algún aviador despistado supusiera que aquellas cúpulas no estaban destinadas a la ciencia pura. Millikan no quiso que Hubble se fuera a la Costa Este porque pensaba que era la Costa Oeste la que necesitaba mayor protección militar por las posibles incursiones japonesas.

Por otra parte, cuando empezó a disiparse la inminencia de un ataque japonés, muchos de los astrónomos y técnicos se habían alistado o incorporado a misiones militares. Hubo un astrónomo que se quedó en Mount Wilson, paradójicamente porque

era alemán de nacimiento: Walter Baade. Había sido contratado en Mount Wilson bastante antes de que comenzara el conflicto bélico, pero no había pedido, quizá por desidia, la nacionalidad estadounidense. Aunque todos sabían que no era sospechoso de afinidad con la política de Hitler, no permitieron que se alistara en un ejército que estaba en guerra con el país en el que había nacido. La confianza en él no podía ser total, a pesar de que era completamente inofensivo, sin más interés que la ciencia.

Así que, el único astrónomo de Mount Wilson durante la guerra con Alemania era un alemán y tenía el 100 pulgadas para él solo. Su trabajo fue además realmente interesante. Una espiral tenía un bulbo, semejante a una elíptica, más un disco. Baade se dio cuenta de que las estrellas del bulbo no eran como las del disco. Las estrellas del bulbo, al igual que las estrellas de los cúmulos globulares, eran más viejas. Su mayor antigüedad venía indicada por la escasez de metales en su espectro. Hay que advertir que en astrofísica se llama «metal» a cualquier elemento exceptuando los dos más comunes y más ligeros en el universo, el hidrógeno y el helio. En cambio, las estrellas del disco eran más jóvenes porque poseían muchos más metales.

Esta interpretación requiere una aclaración. Las estrellas producen metales que devuelven en parte al medio interestelar cuando mueren. De este medio interestelar nacen nuevas estrellas que acaban también vertiendo al medio los metales producidos. Tras varias generaciones de estrellas, el medio se ha enriquecido tanto en metales que este efecto de acumulación hace que las estrellas jóvenes contengan muchos metales.

Baade llamó «estrellas de la población I» a las estrellas jóvenes del disco y «estrellas de la población II» a la viejas del bulbo y de los cúmulos globulares. Entonces se hizo la gran pregunta: si las estrellas del disco y del bulbo eran diferentes, ¿no era posible que también fueran diferentes las cefeidas de disco y de bulbo? Y, efectivamente, encontró una interesante diferencia: los períodos de las cefeidas de la población II eran más largos, y su luminosidad mayor. Eso quería decir que la calibración de las distancias que había hecho Hubble estaba equivocada. Hubble había usado indiscriminadamente ambos tipos de cefeidas.

Baade rehizo la calibración y obtuvo como resultado que el universo era más del doble de grande de lo que había imaginado Hubble. Esto solucionaba una gran duda anterior. Con las medidas primeras de la constante de Hubble el universo tendría una edad de unos 2000 millones de años. Tras la calibración de Baade tenía que ser más viejo, como de unos 4000 millones de años. Mediante cálculos radiactivos, los geólogos habían calculado que la Tierra tenía 4000 millones de años. Todo parecía indicar que la Tierra era más vieja que el universo, lo cual era evidentemente absurdo. Pero con la nueva calibración de Baade, la incompatibilidad de fechas se solucionaba; incluso era sorprendente el buen acuerdo en órdenes de magnitud.

> «Las encontramos [las galaxias espirales] más pequeñas y débiles, en número creciente constantemente, y sabemos que estamos ahondando más y más en el espacio, puesto que las nébulas más débiles solo pueden detectarse con los mayores telescopios, y así hasta que llegamos a la frontera del universo conocido.»
>
> — Edwin Powell Hubble.

La discusión era un poco más complicada, pues del valor de la constante de Hubble no puede deducirse directamente la edad del universo, pero la intervención de los teóricos era clave porque la edad del universo y el tiempo de Hubble tenían que ser del mismo orden de magnitud.

Probablemente, Hubble no recibió la noticia con agrado desde la isla de Spesutie. No aceptaba con facilidad que alguien le dijera que estaba equivocado. En realidad, la noticia podría interpretarse como que afianzaba sus principales conclusiones, que el universo era muy grande y que la ley de expansión se cumplía.

Cualquier otro astrónomo se habría alegrado con los nuevos datos que confirmaban y precisaban su mayor logro, pero el espíritu combativo y competitivo de Hubble hizo que tras su reincor-

poración a Mount Wilson, las relaciones con Baade sufrieran un caliente deterioro. Más que iluminado, se sintió apenumbrado, y contagió su desazón a Humason.

LA DIRECCIÓN DE MOUNT WILSON

En 1944, Walter Adams pidió la jubilación. Se necesitaba un nuevo director y la elección más directa recaía nuevamente en el más prestigioso de los astrónomos de Mount Wilson: Edwin Hubble. Pero pronto volvieron a surgir dudas sobre su capacidad para compatibilizar un trabajo administrativo con uno científico.

El mismo Adams fue uno de los detractores más convencidos. Para él, Hubble estaba siempre en Inglaterra; cuando no, estaba pescando en Río Grande, en Colorado; cuando no, estaba dedicándose a las pompas de la alta sociedad. El trabajo puramente científico, tan intenso y fértil en el pasado, había pasado a un segundo plano. No tenía conocimientos de astrofísica, disciplina que comenzaba a tener el auge que le correspondía por ser la física la que podía interpretar las observaciones puramente astronómicas. Hubble poseía un «individualismo extremo» y «elevaba su anglofilia al nivel de fe» y así, otros comentarios igualmente despectivos. Al oírlos hay que tener en cuenta que las relaciones personales entre Adams y Hubble nunca fueron buenas y empeoraban con el paso del tiempo. Hubble se iba cuando quería y, cuando se publicaba alguna de sus conferencias, no mencionaba para nada su filiación como astrónomo de Mount Wilson, observatorio que dependía de la Institución Carnegie.

Era esta institución la que debía resolver y decidir la elección del nuevo director. Su presidente compartía las opiniones de Adams. Hubble era un buen científico, pero no le habían llegado buenas referencias sobre su actuación en el laboratorio militar de balística, pensaba que no tenía habilidad como gestor, que su arrogancia y su egocentrismo harían que su elección fuera un desastre. «Nunca prestó atención a los aspectos sutiles de las relaciones humanas», dijo el presidente.

En cambio, Richard Tolman defendía su candidatura. Los colegas de todo el mundo no podrían comprender cómo se podía negar la dirección a un científico del prestigio de Hubble. Además —decía Tolman—, Hubble montaría en cólera si no era nombrado y su espíritu combativo le llevaría por «caminos tortuosos» a entorpecer la gestión del nuevo director. Lejos de interpretar la Institución Carnegie esta razón a favor de Hubble, el resultado fue todo lo contrario: «Es un excelente argumento para que él no sea el director».

También se pensó en Shapley, pero su actitud personal causaba aún mayor repulsa. Una elección que parecía correcta a todos —incluidos a Millikan, Tolman y Adams— era la de Ira Bowen. Bowen estaba en Caltech; no era astrónomo, pero sí un excelente físico, protegido de Millikan, y por su formación se adaptaría al trabajo de la observación astronómica. Además, tenía una relación amigable con todos sus colegas y poseía una natural habilidad diplomática, o lo que podríamos llamar «mano izquierda» para resolver confrontaciones personales. Una vez, tomada la decisión, faltaba poner el «cascabel al gato»: ¿cómo decírselo a Hubble?

El mismo Bowen propuso la solución: Hubble no sería el director, pero sería el presidente de un Comité del Programa Científico que tendría un carácter simplemente consultivo, pero que le permitiría desarrollar su proyecto científico. El sueldo del director y el del responsable de este comité serían aproximadamente iguales.

Pero a Hubble, que estaba convencido de que él era el único director posible, no le gustó esta solución, y contestó al mismo Bowen diciéndole que la elección de un físico en lugar de un astrónomo era muy molesta. Y le propuso algo parecido, pero al revés. El director sería un líder científico y su acción se vería facilitada por un oficial ejecutivo competente que se ocupara de las gestiones de detalle. Pero la decisión estaba tomada y Bowen fue nombrado nuevo director.

La solución diplomática dio buenos resultados y llevó armonía y ciencia a Mount Wilson. Hubble quedó, en parte, resignado, su prestigio era respetado y el comité científico no fue necesario. De hecho, este comité nunca fue convocado por su propio presidente.

ENFERMEDAD Y MUERTE

En 1949, Edwin y Grace se encontraban en su lugar favorito de disfrute de la naturaleza, en las casas en el paraje de Río Grande, en Colorado, donde Edwin se dedicaba a la pesca de la trucha, un deporte nada sedentario para un hombre senescente de sesenta años, a más de 2000 m sobre el nivel del mar y con muy escasa población en los alrededores. Allí pasaban muy buenos momentos desde hacía tiempo, en compañía de sus vecinos y amigos, los Crotty.

En Río Grande Hubble tuvo un ataque al corazón casi mortal. Por su aislamiento y su agreste geografía era el peor sitio imaginable para sufrir tal inconveniente. Por teléfono, su médico de cabecera, el doctor Paul Starr, hizo el diagnóstico y les informó del hospital más próximo. Era el hospital de St. Mary, regido por las Hermanas de la Caridad en el pueblo de Grand Junction, situado a unos 150 km. En él, las hermanas y los médicos les atendieron muy bien, aunque con más caridad que tecnología. Especialmente, una enfermera fue la encargada de atender de forma continua a tan distinguido enfermo. No tenía gran preparación, pero era muy bondadosa.

En el hospital, Hubble tuvo un segundo ataque aún más fuerte. Paul Starr se trasladó a Grand Junction y allí, con los médicos del hospital y el buen hacer de las monjas, sacó a Hubble adelante. Se había salvado de milagro, aunque Starr le dijo que se olvidara de hacer observaciones. Su corazón trastornado no podría resistir los casi 2000 m de altitud de Monte Palomar. Ya en casa, la recuperación fue lenta y, gracias a su naturaleza y su vigor natural, y a los cuidados de Starr y de Grace, al año siguiente ya estaba dispuesto a hacer otro viaje a Europa. No recibió visitas de sus colegas, especialmente al principio de la convalecencia, porque Grace lo prohibió. Solo se podía hablar con ella si alguien se interesaba por la salud de su marido.

Hubble, el competitivo indomable, recibía a veces noticias de los descubrimientos de sus colegas, con una rabia y un amor propio que agitaban su maltrecho corazón. La muerte le estuvo rondando, pero no se lo llevó. Su actividad como astrónomo se fue apagando poco a poco. Su ciencia se quedó en su boca como se quedó su pipa, pero ya sin fuego y sin resuello. Estuvo presente en Washing-

LOS HUBBLE EN LASCAUX

Con frecuencia, los grandes científicos son pensadores antes que científicos, lo que se manifiesta en una curiosidad innata por otros temas que no son de su especialidad. El amplio abanico de intereses muestra que este era el caso de Hubble. Después de haber tenido un severo ataque al corazón en 1949, al año siguiente Edwin se fue de nuevo a Europa con Grace y esta vez hicieron una interesante visita a la cueva de Lascaux. Esta cueva está en Montignac, cerca de Brive-la-Gaillarde, es decir, muy en el interior de Francia, por lo que la curiosidad de un debilitado Edwin llama más la atención y es digna de admiración. Gracias a la fama que precedía a Hubble, tuvo dos guías de excepción, pues dos de los mozos que habían descubierto la cueva diez años antes, que ahora eran ya unos hombres de veintisiete años, acompañaron a Edwin y a Grace por las galerías, entonces cerradas al público. El abate Breuil, la mayor autoridad en arte paleolítico en Francia, la había bautizado como la «Altamira francesa» y creía que las pinturas eran del período auriñacense, con una antigüedad de entre 30000 y 38000 años. (Hoy se sabe que corresponden al período magdaleniense y se datan entre 17000 y 18600 años). En la sala de los toros, los Hubble pudieron admirar la perfección de las figuras, un unicornio, caballos, un gran toro, ciervos, una vaca, un oso... pintados con un arte increíble. En los 800 m de la cueva había un número incontable de figuras. Grace anotó en su diario: «La impresión general estuvo más allá de cualquier expectación».



Imagen del interior de la cueva de Lascaux. Hubble y su esposa Grace la visitaron en 1949.

ton en 1950, como presidente del comité de la medalla Barnard, concedida a un ilustre físico, el italiano Enrico Fermi (1901-1954), por sus investigaciones en mecánica cuántica. Sus contribuciones en astrofísica son menos conocidas, pero muy valiosas.

En octubre, Starr le autorizó al fin a hacer una campaña de observación en Monte Palomar. Grace le acompañó, pero no pudo dormir en el «Monasterio», residencia reservada a los hombres. Realizaban la campaña el joven Allan Sandage, adiestrado por Humason, y otro joven astrónomo hoy muy conocido, Halton Arp. Sandage siempre admiró a su maestro, aunque apenas le trató, por haber entrado a trabajar cuando le dio el ataque al corazón. Se vanagloriaba de haber «sido aprendiz del más grande astrónomo en cuatro décadas».

«Su visión en los problemas que trataba era infalible. Cada artículo suyo se convertía en un clásico.»

— Impresión de Allan Sandage sobre Hubble.

Todavía Edwin y Grace hicieron otro viaje a Europa: Londres, Edimburgo, París, Lascaux, Cambridge... En Londres conocieron a la reina, Isabel II, que entonces tenía veintiséis años. Visitaron a Hoyle, Jeans..., a todos sus buenos amigos británicos. A su vuelta Hubble se encontraba vigoroso, dispuesto a reanudar su actividad científica plenamente, a explotar el telescopio de Monte Palomar como si fuera algo concebido para él, a sus brillantes apariciones sociales, a exhibir su medalla al mérito civil, a comportarse con sus cuidadas formas británicas... Encargó botellas de Jerez a su suministrador inglés en Los Ángeles para brindar por su recuperada salud...

Al día siguiente, el 28 de septiembre de 1953, Edwin Powell Hubble murió por trombosis cerebral, con sesenta y cuatro años, de repente y sin dolor, tranquilamente, como él dijo que quería desaparecer. No hubo funeral ni entierro, ni solemne ni íntimo. Grace cumplió su último deseo y hoy se desconoce completamente el destino de sus restos.

Quien tanto apreció las pompas sociales en la vida, las despreció en la muerte.

Anexo

DEDUCCIÓN DE LA LEY DE HUBBLE

En la mecánica clásica de fluidos hay dos fórmulas básicas que bien conocen los estudiantes de ciencias: la ecuación de continuidad y el teorema de Bernoulli.

La ecuación de continuidad, que no es otra cosa que la expresión de conservación de la masa, dice:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \nabla \cdot \vec{v} + \vec{v} \cdot \nabla \rho = 0.$$

Pero de acuerdo con el principio cosmológico no puede haber un gradiente de densidad, la densidad solo puede depender del tiempo. Por tanto, el tercer sumando se anula:

$$\frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot \vec{v} = 0.$$

El primer sumando solo depende del tiempo, por tanto, el segundo solo puede depender del tiempo, a través de una función desconocida a la que podemos llamar $3H(t)$. Pero:

$$3 = \nabla \cdot \vec{r},$$

luego podemos escribir:

$$\nabla \cdot \vec{v} = \nabla \cdot (H(t)\vec{r}).$$

Como $H(t)$ es función exclusiva del tiempo, se puede incluir dentro de la divergencia. La solución de esta ecuación es del tipo:

$$\vec{v} = H(t)\vec{r} + \nabla \times \vec{\varphi}(\vec{r},t),$$

donde la función vectorial φ es una función cualquiera desconocida. En efecto, esta expresión es solución de la ecuación diferencial por ser nula la divergencia del rotacional de cualquier vector. No puede depender del vector de posición, sino solo de su módulo, pues de otra forma violaría el principio de isotropía. Pero el rotacional de una función así es cero, por lo que finalmente obtenemos:

$$\vec{v} = H(t)\vec{r},$$

equivalente a la ley de Hubble, con la especificación de que la velocidad ha de ser de expansión pura. La función $H(t)$ queda desconocida y para su determinación hay que recurrir a otras ecuaciones y, aún mejor, a las ecuaciones relativistas de conservación de momento y energía que quedan fuera del nivel de este anexo. $H(t)$ puede tener valores positivos, negativos, nulos o su signo puede cambiar a lo largo del tiempo. Las observaciones dicen que hoy H_0 es positivo. Hay expansión.

Veamos ahora otro razonamiento alternativo con mayor grado aún de sencillez, basado en el teorema de Bernoulli, bien conocido por explicarnos muchas paradojas del comportamiento curioso de los fluidos clásicos. Dice este conocido teorema en su forma más simple y conocida:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante},$$

donde p es ahora la presión. Esta fórmula se cumple cuando en los diferentes puntos del fluido la gravedad es la misma. Si hay variaciones de gravedad, hay que incluir la energía potencial gravitatoria. Y no hace falta que pongamos la presión, pues el principio cosmológico nos dice que la presión es la misma en todos los puntos; puede pasar al segundo miembro y englobarse dentro de la constante. La energía potencial por unidad de volumen se escribe como $-(GM^2)/r$, donde ahora la masa es $M = \rho 4\pi r^3/3$, luego:

$$-\frac{4}{3}\pi G\rho^2 r^2 + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{constante.}$$

Obsérvese que $M(r)$ es la masa contenida en una esfera de radio r.

Para hallar el valor de la constante buscamos su valor «aquí» con $r = 0$. Aquí, no observamos velocidad de expansión. Aquí, evidentemente es $r = 0$, luego la constante del segundo miembro es cero. Obtenemos, por tanto:

$$v = \left(\frac{8}{3}\pi G\rho\right)^{1/2} r = H_0 r,$$

donde no solo hemos obtenido la ley de Hubble, sino que además hemos calculado el valor de H_0:

$$H_0 = \sqrt{\frac{8}{3}\pi G\rho}.$$

¿Es este realmente el valor que los modelos teóricos relativistas predicen? No exactamente; este es el valor correspondiente al universo crítico con curvatura nula. Como hemos partido de ecuaciones clásicas, no podemos aspirar a algo más exacto. La formulación que se presenta en este anexo es, desde luego, muy superficial, pero ilustra cómo la ley de Hubble es una consecuencia directa del principio cosmológico, como podría haber predicho un simple estudiante de ciencias. Claro que a posteriori todo es más sencillo.

Ello no le quita mérito a Hubble. El razonamiento es retrospectivo. Una vez que se conocen los procesos, es más sencillo justificarlos. Esto sería una «pospredicción». En cualquier caso, había que demostrarlo con observaciones. En aquellos tiempos era muy difícil aseverar que el universo se expande. De hecho, Einstein no se atrevió a hacerlo.

Lecturas recomendadas

BATTANER, E., *Un físico en la calle*, Granada, Editorial Universidad de Granada, 2010.

—: *Física de las noches estrelladas*, Barcelona, Tusquets, 2010.

—: *¿Qué es el universo?¿Qué es el hombre?*, Madrid, Alianza, 2011.

CHRISTIANSON, G. E., *Edwin Hubble. Mariner of the Nebulae*, Chicago, University of Chicago Press, 1995.

HUBBLE, E., *The Realm of the Nebulae*, Yale, Yale University Press, 1936.

KRAGH, H., *Historia de la cosmología*, Barcelona, Crítica, 2008.

REES, M., *Antes del principio. El cosmos y otros universos*, Barcelona, Tusquets Editores, 1999.

SHAROV, A. S. y NOVIKOV, I. D., *Edwin Hubble. The Discoverer of the Big-Bang Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 2005.

Índice

Adams, Walter 12, 68-70, 72, 74, 75, 77, 85, 108, 127, 141, 142, 144, 146, 147, 154, 155
agujero negro 97
Andrómeda (M31) 11, 13, 50, 64, 66, 67, 80, 81, 84, 85, 87, 89, 108, 116
apex 108
Arp, Halton 158

Baade, Walter 76, 85, 152-154
Bailley, Solon 77
Barnard, Edward 69, 70, 158
Beltz, Martha 43, 80
Bernoulli, teorema de 159, 160
big bang 9, 10, 105, 109, 113, 114, 125-127, 129, 131-134
big crunch 126, 131-133
big rip 130
Bondi, Hermann 126
Bowen, Ira 155
brazos espirales 88, 96
Brecht, Bertolt 56
Bruno, Giordano 117
bulbo 95-97, 152

Capra, Frank 56
cefeidas 77, 78, 80, 82-85, 89, 101, 102, 111, 138, 152
Chandrasekhar, Subrahmanyan 12, 56, 145
Chaplin, Charles 56
Christianson, G.E. 77
cicloide 131, 133
coalescencia 124, 126
Cooper, Gary 35, 56
cúmulo
- galáctico 101-103, 118, 128, 129
- globular 42, 80, 82, 84, 85, 152

Curtis, Herber 62, 81, 82, 90

De Sitter, Willem 10, 99, 106-111, 113, 124, 127, 128-131, 135, 136
desplazamiento al rojo *(redshift)* 63-66, 99, 101, 102, 104-106, 112-114, 117, 140, 142
disco 62, 95-97, 152
Disney, Walt 56
Doppler, Christian Andreas 63
- efecto 63, 66, 86, 99, 104-106, 112, 113, 142

ecuación de continuidad 159
edad del universo 153
Eddington, Arthur 30, 31, 44, 45, 50, 52, 55, 71, 72, 110, 147

Einstein, Albert 9-11, 13, 28, 48, 55, 108, 121-129, 131, 132, 135, 136, 139-145, 161
energía oscura 124, 128, 130, 134, 135
estado estacionario, teoría del 10, 122, 124, 126
estrella «nova» 31, 80, 81, 85
estrellas
 de la población I 152
 de la población II 152
estructura a gran escala 117
extinción interestelar 71

factor de escala cósmico 130-137
Fermi, Enrico 158
Fondo Cósmico de Microondas, CMB 114-116, 133, 135
Franklin, Benjamin 58
Fraunhofer, Joseph von 66
Friedman, Alexander 10, 109, 124-126, 132, 133
Frost, Edwin 30, 69, 70
fusión de galaxias 95

Gable, Clark 56
galaxias
 barradas 88, 91
 elípticas 8, 88, 89, 92, 93, 96, 97, 152
 espirales 8, 66-69, 81, 82, 87-89, 91-93, 95-97, 102, 108, 152, 153
 irregulares 88, 94, 95, 97
 lenticulares 8, 88, 97
 tardías 92, 94, 96, 97, 106
 tempranas 92, 94, 96, 106
Goddard, Paulette 56
Gold, Tommy 126

Hale, George Ellery 44, 46, 70-72, 74, 82, 85, 147, 148, 150, 151
Herschel, William 8, 50, 59, 62, 71, 81
Hertzsprung, Ejnar 67, 68, 79, 80
homogeneidad 7, 119, 121, 138
Howard, Leslie 56
Hoyle, Fred 10, 50, 55, 105, 126, 158
Hubble
 clasificación galáctica de (diapasón) 7, 8, 59, 75, 87-97, 106
 constante de 12, 103, 105, 109, 110, 113, 116, 153
 flujo de 12
 función de 113, 130, 136
 ley de 7, 12, 13, 86, 99, 102, 103, 106-118, 125, 151-154, 159-161
 telescopio espacial (HST) 12, 149
 tiempo de 12, 105, 131, 153
Hubble, Grace 13, 24, 25, 38, 47-58, 94, 142, 143, 156-158
Humason, Milton L. 11, 40, 76, 84, 85, 99, 101-104, 107, 109-112, 139, 146-148, 154, 158
Humboldt, Alexander von 61

isotropía 115, 117, 119, 122, 137, 138, 160

James, Jesse 18, 19
Jeans, James Hopwood 50, 52, 55, 56, 92, 106, 158

Kapteyn, Jacob 71, 76, 81

Leavitt, Henrietta 78, 79
Lemaître, Georges 10, 99, 109-111, 124-127, 143
Lowell, Percival 18, 67, 108
Lundmark, Knut Emil 75, 76, 85, 90, 93, 94, 108, 111, 148
luz cansada 104

Maanen, Adriaan van 71, 73, 75, 81, 82, 85, 90, 148
Marx, Harpo 56
Mason, Max 148
materia oscura 8, 94, 96, 114, 128, 129, 136

Mayal, Nick 137-139, 148
Michelson, Albert 28, 144
Minkowski, Rudolf 76
Moulton, Forest Ray 24, 27-31, 69

nebulosas planetarias 89
Nobel, premio 12, 13, 22, 28, 46, 56, 144, 145, 151
Nube de Magallanes 75, 78, 82

paradoja de Olbers 125
Payne, Cecilia 77, 84
Pease, Francis 147, 148, 150
Pigafetta, Antonio 79
Poincaré, Henri 147
Porter, Cole 56
principio cosmológico 116, 117, 119, 122, 123, 159-161
Proyecto Manhattan 48

recombinación 114, 137
reionización 114, 137
relación
- período-luminosidad 80, 83
- Tully-Fisher 86

relatividad, teoría de la 9, 105, 107, 108, 112, 116, 121-124, 141-144
Robertson, Howard 76
Russell, Bertrand 56
Russell, Henry N. 67, 76, 79, 80, 82, 90

Sandage, Allan 38, 158
Schmidt, Bernhard 150, 151
seeing 31
Shapley, Harlow 41-43, 46, 50, 62, 64, 71, 75-77, 80-82, 84, 85, 90-92, 111, 148, 151, 155
Slipher, Vesto 10, 62, 66-69, 80, 86, 90, 101-103, 107, 108, 110, 111, 116
Stravinsky, Igor 56
supernova 80, 81

término cosmológico 124, 128, 129, 131, 134
Thomson, J.J. 146
Tolman, Richard 76, 103, 143, 155
Turner, Herbert Hall 29, 36, 50, 76, 94
Twain, Mark 38

universo
- abierto 128, 131, 132
- cerrado 126, 131-133
- crítico 128, 131-136, 139, 161
- de De Sitter 124, 129, 130, 135, 136
- de Einstein-De Sitter 131, 135, 136 (*véase también* universo crítico)
- dominado por radiación 133, 134
- expansión del 8, 10, 66, 67, 74, 106, 108, 116, 124-126, 128-131, 135, 153, 160, 161
- fractal 118
- homogéneo 10, 117, 118, 122, 138, 139
- monogaláctico 42
- plano 128 (*véase también* universo crítico)

velocidad peculiar 114-116

Wells, H.G. 57
Wren, Christopher 62
Wright, William 49, 87

Zwicky, Fritz 76, 104, 128, 149